

# *Der Urvogel*



## *Archaeopteryx*

Martin Sauter



*Der Urvogel*  
*Archaeopteryx*



*Für Nadine*



# Inhaltsverzeichnis

|  |        |
|--|--------|
| Inhaltsverzeichnis .....                   | - 1 -  |
| Vorwort .....                              | - 2 -  |
| Der Fundort .....                          | - 3 -  |
| Die Funde .....                            | - 8 -  |
| Die Forscher und der Wandel der Zeit ..... | - 16 - |
| Vogel oder Reptil – oder beides? .....     | - 21 - |
| Rekonstruktion .....                       | - 29 - |
| Federevolution – woher und warum .....     | - 31 - |
| Evolution des Vogelfluges .....            | - 34 - |
| Geflattert oder Geflogen? .....            | - 37 - |
| Systematik - Problematik .....             | - 39 - |
| Frühere Vogelfossilien .....               | - 43 - |
| Spätere Vogelfossilien .....               | - 45 - |
| Archaeopteryx – gefälscht? .....           | - 46 - |
| Kreationistisches .....                    | - 49 - |
| Epilog .....                               | - 51 - |
| Danksagung .....                           | - 52 - |
| Literaturverzeichnis .....                 | - 53 - |
| Bildnachweis .....                         | - 57 - |

## Vorwort

Als ich begann, mich aufgrund meines Hobbys Fossiliensammeln mit *Archaeopteryx* zu beschäftigen, hatte ich nicht vor, und auch nicht im Traum daran gedacht, jemals ein derartig großes Manuskript zu diesem Thema zu verfassen. Manch einer wird nun sagen: „Bitte nicht noch eine Veröffentlichung über den Urvogel“, da es ja schon eine Reihe dieser Bücher gibt. Nun ist es aber meiner Meinung nach so, dass die Bücher, die auf Deutsch erhältlich sind, entweder sehr populärwissenschaftlich gehalten oder Fachartikel sind, die unter Umständen für den Laien wenig verständlich sein mögen. Wem sich aufgrund mangelnder Sprachkenntnisse die englische Literatur nicht erschließt, hat so leider auch keinen Zugriff auf die zum Teil sehr guten englischsprachigen Bücher. Da ich mich mit einigen englischsprachigen Büchern zu diesem Thema beschäftigt habe, habe ich erst einmal für mich angefangen die Informationen verständlich zusammenzutragen. Neben einem Artikel, den ich im Mai 2001 für meine Webseite verfasst habe um kreationistische Sichtweisen denen der aktuellen Wissenschaft gegenüberzustellen, ist daraus dieses Werk entstanden.

Vielleicht hilft es dem einen oder anderem der sich näher mit der Materie Vogelevolution, Entstehung der Vögel sowie *Archaeopteryx* beschäftigen will oder sich dafür interessiert. Sicherlich, ich bin weder Paläontologe noch Ornithologe, aber dennoch hoffe ich einen Einblick in diese höchst interessante Materie geben zu können.

Dieses Werk will sich aber nicht als anti-kreationistisch verstehen, sondern durchaus als wissenschaftlich. Dennoch habe ich versucht, die grundlegenden Vorgehensweisen der Kreationisten in einem eigenen kurzen Kapitel zu skizzieren, und auch einige Fehler aufzuzeigen; in der Hoffnung, dass diejenigen, die mit offenen Augen und Ohren durch das Leben wandern nicht auf die auf den ersten Blick teilweise überzeugend wirkenden, kreationistischen Darstellungen in Bezug auf die Vogelevolution hereinfliegen.

*Martin Sauter*

Anmerkung:

Korrekt müssten die Urvögel mit "die *Archaeopteryx*" angesprochen werden, da "pteryx" (Die Feder) weiblich ist. In der gängigen Literatur wird aber darauf verzichtet, daher werden auch hier die Fossilien mit "dem (Urvogel) *Archaeopteryx*" angesprochen.



## Der Fundort

Es wird wohl kaum eine Fossiliensammlung oder ein paläontologisches Museum geben, welche nicht Versteinerungen aus dem Solnhofener Plattenkalk beherbergen. Die kleine Ortschaft Solnhofen, mitten im Naturpark Altmühltal gelegen, ist diesbezüglich weltberühmt, obwohl mit dem Begriff „Solnhofener Plattenkalk“ im weiteren Sinne auch alle anderen Plattenkalkvorkommen der Region wie zum Beispiel Eichstätt, Zandt und viele weitere umschrieben werden.



Abb. 1 Das Vorkommen des Solnhofener Plattenkalkes

Es handelt sich bei diesem Vorkommen um eine sogenannte Lagerstätte, damit ist im paläontologischen Sinne ein Fundort gemeint, welcher durch seinen Artenreichtum und die Erhaltung der Fossilien besonders hervorsteicht. Mittlerweile sind über 700 verschiedene Tier- und Pflanzenarten aus dem Solnhofener Plattenkalk wissenschaftlich bearbeitet, und es ist sicherlich anzunehmen, dass es noch mehr werden, da durch den industriellen Abbau der Plattenkalke, die auch Lithographischer Schiefer genannt werden, immer wieder neue Fossilien an das Tageslicht kommen.

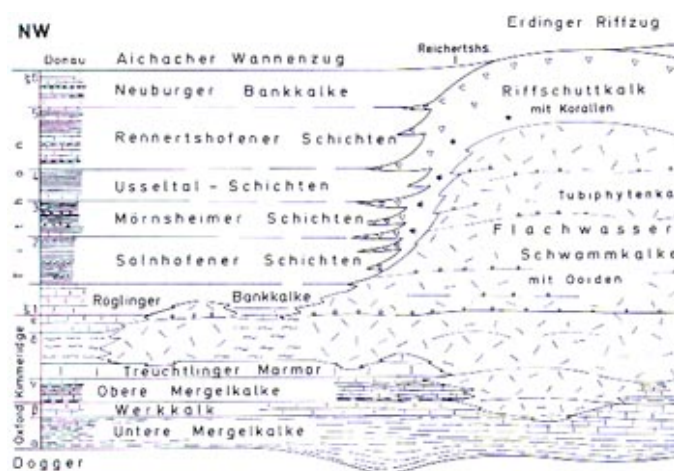


Abb. 2 Schichtprofil von der Donau nach Erding

Die Plattenkalke sind ca. 144 bis 150 Mio. Jahre alt, damit gehören diese stratigraphisch in das Untere Tithonium. Nach der heute immer noch gebräuchlichen geologischen Einteilung von F.A. QUENSTEDT ist dies das Malm epsilon bis Malm zeta 3. Die Schichtstärke beträgt insgesamt bis zu 85 Meter (Untere und Obere Solnhofener Schichten).

Abgebaut werden aber in der Regel nur die oberen Solnhofener Schichten, welche eine Mächtigkeit von ca. 30 bis 40 Meter haben können. Weiter im Westen gelegen finden sich ältere Sedimente, der Treuchtlinger Marmor. Die Stärke der Schichten des Treuchtlinger Marmors beträgt ca. 40 Meter und stratigraphisch gehört dieser zum Kimmeridgium.

Wie durch archäologische Ausgrabungen im Raum Weißenburg und auch andernorts nachgewiesen wurde, haben bereits die Römer oftmals den Solnhofener Plattenkalk als Baumaterial verwendet. Allerdings ist uns nicht überliefert, wie die sicherlich entdeckten Fossilien erklärt wurden, wenn dies überhaupt der Fall war.



Abb. 3: Plattenkalk in der Weißenburger Therme

Im 16. und 17. Jahrhundert wurde der Solnhofener Plattenkalk im Fundgebiet ebenfalls als Baumaterial verwendet, die Fossilien wurden allerdings zum Teil als „Teufelswerk“ abgetan, was sich in der Bezeichnung „Eichstätter Spinnensteine“ widerspiegelt. Mit dieser Umschreibung wurde die freischwimmende Seelilie *Saccocoma tenella*, die zum Teil sehr häufig auftritt, bezeichnet. Die Ablagerungen wurden, dem strengen Glauben nach, der Sintflut zugeschrieben.



Abb. 4: „Eichstätter Spinnenstein“



Abb. 5: Alois Senefelder

Einen enormen wirtschaftlichen Aufschwung erfuhr die Wirtschaft um den Solnhofener Schiefer im Jahre 1793, als ALOIS SENEFELDER mit seiner Erfindung der Lithographie (Steindruck) den Solnhofener Plattenkalk als optimalen Druckstein entdeckte. Heutzutage erfolgt der Abbau immer noch per Hand, die Plattenkalke

werden unter anderem als Fliesen weiterverarbeitet. Der Abraum, der nicht genutzt werden kann, wird entweder auf Halden gelagert oder zu Beton verarbeitet.



Abb. 6: Steinbruchgebiet Untere Haardt bei Solnhofen / Langenltheim

Als die Paläontologie als Wissenschaft entstand, haben sich viele Wissenschaftler mit den Fossilien des Solnhofener Plattenkalkes auseinandergesetzt. Allerdings haben die meisten sich nur mit den Fossilien, nicht aber mit der Rekonstruktion des damaligen Lebensraumes beschäftigt.

Dies änderte sich als Paläontologen anfangen sich nicht nur für die Fossilien sondern auch für den Lebensraum zu interessieren, und so wurde versucht diesen zu rekonstruieren. Wenn man sich die Landschaft ansieht, in der das Plattenkalkvorkommen liegt, wird klar, dass es sich um Lagunen gehandelt haben muss, denn man findet an den Rändern des Vorkommens Riffstotzen. Daher ist klar, dass der Lebensraum der Solnhofener Lagunen vom offenen Meer mehr oder weniger abgetrennt gewesen sein muss.



Abb. 7: „Dohlenfelsen“ bei Kohnstein

Eben dieses „mehr oder weniger“ führte dazu, dass einige Wissenschaftler angenommen haben, dass diese Wannen zeitweise trocken fielen oder dass es sich um ein von Ebbe und Flut zeitweilig überschwemmtes Gebiet gehandelt haben muss. Andere wiederum waren davon überzeugt, dass die Lagunen stetig von Wasser bedeckt waren.

Betrachten wir die Argumentationen von OSKAR KUHN, welcher überzeugt war, dass die Lagunen zeitweilig trocken fielen: Er brachte ins Feld, dass die meisten Fossilien auf der Unterseite der Platten (hangende Schicht) liegen. Dies erklärte er damit, dass der Organismus, eingebracht durch eine Überschwemmung, sich nicht auf der trockenen vorhandenen Oberfläche ablagerte, sondern sich in den frischen, nassen Schlamm, der sich über dem Organismus ablagert, einbettete. Allerdings konnte er das Fehlen von Trockenrissen, welche zweifelsohne beim Trocknen des Schlammes hätten entstehen müssen, nicht erklären. Interessanterweise deutete er Aufsetzmarken von Landlebewesen als Todeskampfspuren, wohingegen Rollmarken von Ammoniten während der Flut entstanden sein sollen [1].



K. WERNER BARTHEL argumentierte, dass die Solnhofener Lagunen ständig von Wasser bedeckt gewesen sein mussten. Hauptargument war zum einen das völlige Fehlen von Laufspuren landbewohnender Lebewesen, die bei einem Trockenfallen zu erwarten wären, und zum anderen die Tatsache, dass sich Fossilien dieser Lebewesen nur äußerst selten finden lassen. Das Argument, dass die Fossilien meist auf der hangenden Schicht zu finden sind, konnte er entkräften. Er zeigte, dass sich auf unter Wasser befindlichen Sedimenten ein Oberflächenhäutchen aus Tonmineralien bildet, welches tote Organismen nur wenig an sich bindet. So konnte das Sediment welches sich über dem Organismus absetzte das jetzige Fossil einbetten [2].

BARTHEL ging davon aus, dass die Solnhofener Lagune ein komplett lebensfeindlicher Raum war, nur an den begrenzenden Riffen herrschten lebensfreundlichere Voraussetzungen.

Heute hat sich das Bild wie es von BARTHEL gezeichnet wurde nur insofern verändert, dass wir davon ausgehen, dass die oberen sauerstoffreichen Wasserschichten der Solnhofener Lagune durchaus lebensfreundlich waren. Nur die unteren Wasserschichten waren lebensfeindlich, da in diesen Wasserschichten der Sauerstoff fehlte [3]. Was bis heute leider immer noch nicht ausreichend geklärt ist, ist die Sedimentationsgeschwindigkeit. Es ist aber anzunehmen, dass diese zum Teil sehr schnell war [4]. Auch die Frage woher das Sediment an sich gekommen ist, kann noch nicht beantwortet werden



Abb. 8: Schematische Rekonstruktion der Lagunen

Die Riffstotzen, die man überall an den Hängen im Altmühltal sieht, waren im Jura die Begrenzungen der Solnhofener Wannen, die diese voneinander trennten. Das Festland lag - Rekonstruktionen zufolge - weiter im Nord-Westen. Die offene See, die Thetys, hingegen lag südlich im heutigen Alpenraum. Die Gegend um Solnhofen war ein Flachwassergebiet, welches von Schwamm- und Korallenriffen gesäumt war. Das Klima war subtropisch, wovon die überlieferte Tier- und Pflanzenwelt zeugt. Hauptsächlich werden die Bewohner dieser Korallenriffe (Fische und Krebse) gefunden, seltener auch Insekten, Flugsaurier, Eidechsen und andere Tiere.

Einige Beispiele der Tierwelt des Solnhofener Plattenkalk:



Abb. 9:  
*Amiopsis lepidota*, ca. 16 cm großer Fisch aus Eichstätt. Diese räuberischen Fische werden aufgrund der Schwanzflosse auch als „Besenfische“ bezeichnet.



Abb. 10:  
*Propterus microstomus* aus Eichstätt. Dieser ca. 10 cm große Fisch gehört zur angrenzenden Korallenriff Fazies.



Abb. 11:  
*Antrimpos speciosus*, einer der häufigsten Krebse, hier mit ca. 16 cm Körpergröße. Fundort ist Eichstätt.

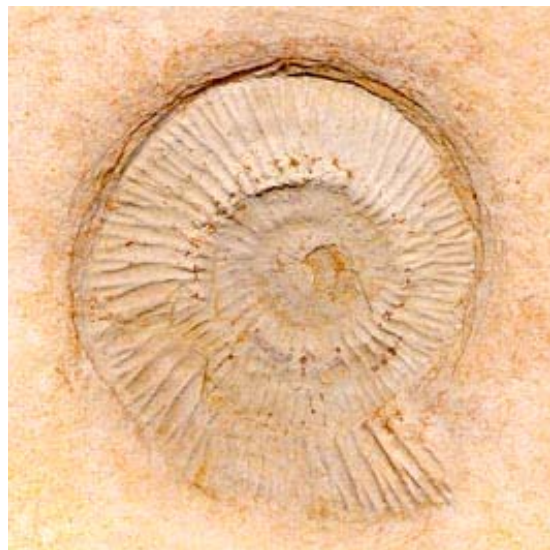


Abb. 12:  
Dieser ca. 7 cm große Ammonit, ein *Subplanites rueppelianus*, stammt ebenso aus Eichstätt.

# Die Funde

*Archaeopteryx* – dieser Name klingt nach Abenteuer....

... und dieses Abenteuer begann im Jahre 1860, als HERMANN VON MEYER, ein Jahr nach dem Erscheinen von DARWINS Entstehung der Arten, eine Feder aus den Solnhofener Plattenkalken beschrieb. Diese wurde im Gemeindesteinbruch in



Solnhofen gefunden, genauer gesagt in dem Anteil des Bruches welches KOHLER gehörte. Bis zu diesem Zeitpunkt war man davon ausgegangen, dass Vögel sich erst nach dem Niedergang der Flugsaurier entwickelt hatten. Daher war diese Feder, die wie eine eines modernen Vogels aussah, eine Sensation. Entsprechend vorsichtig war VON MEYER, der dies wohl selber nicht ganz glauben mochte, waren doch verschiedene Paläontologen seiner Zeit Fälschungen aufgesessen. Doch diese Feder war echt....

Für den unbekannten Träger dieser „uralten Feder aus dem Lithographischen Schiefer“ prägte er den Namen *Archaeopteryx lithographica* [1]. Die Positivplatte der Feder wird heute im Museum für Naturkunde der Humboldt -

Abb1: Die Feder - Positivplatte

Universität in Berlin, die Gegenplatte in der Bayerischen Paläontologischen Sammlung in München aufbewahrt.

Im darauf folgenden Jahr, also 1861, wurde in der Grube Ottmann ein ungewöhnliches Fossil gefunden. Es war ein hybrides Geschöpf: Vogel, weil es Federn trug, aber auch Reptil, denn es hatte krallenbesetzte Finger und einen langen knöchernen Schwanz. Einzig der Schädel fehlte. (Später konnte man Teile der Hirnkapsel auf der Platte identifizieren, zu diesem Zeitpunkt war dem aber nicht so).

Durch die Aufregung um den Fund wurde Dr. KARL HÄBERLEIN darauf aufmerksam. Er erwarb das Fossil von den Grubenarbeitern in Gegenleistung ärztlicher Dienste. Er bot die Fossilplatte zum Kauf an – wobei er Wert darauf legte, dass potentielle Interessenten bei der Besichtigung keine Zeichnungen oder Notizen anfertigten. Natürlich haben dies einige später aus dem Gedächtnis gemacht, wie ALBERT OPPEL, der das Exemplar inspizieren sollte. Interessanterweise ist diese Zeichnung spiegelverkehrt, zeigt aber den Zustand der Positiv-Platte. Vielleicht hat OPPEL aus beiden Platten (Positiv und Negativ) eine komplette Zeichnung gefertigt.



Da zu diesem Zeitpunkt der Darwinismus, oder besser gesagt der Evolutionsgedanke, noch in den Kinderschuhen steckte, ist es nicht verwunderlich, dass durch die Geheimhaltung - die nur dazu dienen sollte den Kaufpreis des Stückes in die Höhe zu treiben - sich allerlei Geschichten um den Fund rankten und viele den wahren Wert dieser Entdeckung nicht erkannten.

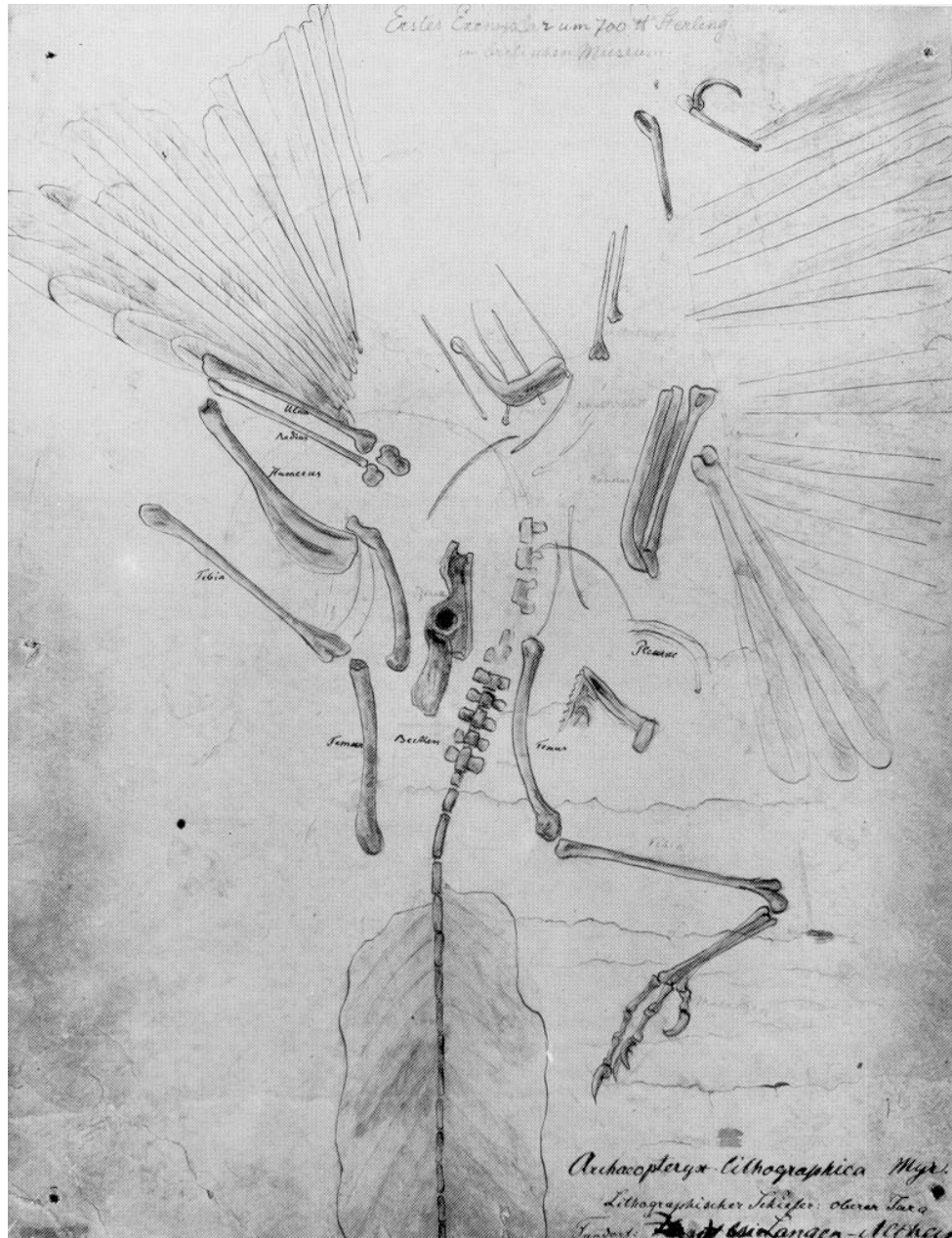


Abb. 2: Die Archaeopteryx Zeichnung von OPPEL

So hat der Münchener Universitätsprofessor ANDREAS WAGNER, ein Verfechter der Schöpfungsgeschichte, den Fund als „Kriechtier“ abgetan. Er benannte ihn „Griphosaurus“ also „Rätselchse“. Ebenso schrieb er in einer Veröffentlichung, dass dieses Tier als „Kriechtier“ anzusehen sei und die Federn nur „Zierrat“ seien. Auch wetterte er gegen die Darwinisten, die dieses Fossil als willkommenes Argument ihrer Thesen sahen. Er war überzeugt davon dass die Darwinisten mit Ihrer Ansicht falsch lagen und so überließ er den Fund anderen [2].



Abb. 3: Das Londoner Exemplar

1877 wurde in der Grube Dörr erneut ein Urvogel gefunden. Und wieder eignete sich ein Häberlein, diesmal der Sohn Ernst, den Fund an. ERNST HÄBERLEIN wollte den Fund zuerst für 36000 Mark innerhalb Deutschlands veräußern, allerdings fand sich lange Zeit kein Käufer. Daher bot er das Fossil auch ausländischen Museen an, unter anderem auch dem Naturhistorischen Museum in New Haven, USA. Um diesen Fund nicht wieder in das Ausland gehen zu lassen wurde das Fossil nach langem Ringen vom Industriellen WERNER SIEMENS im Frühjahr 1880 aufgekauft, da dieser über die nötigen finanziellen Möglichkeiten verfügte. Das Fossil wurde dann an

die Berliner Humboldt Universität weitergegeben und befindet sich heute noch im Museum für Naturkunde der Humboldt - Universität in Berlin. Das Berliner Exemplar, wie dieser Fund nun bezeichnet wird, ist bis heute der mit Abstand schönste Fund des Urvogels. Offiziell wurde es 1884 vom damaligen Kustos, WILHELM DAMES, als *Archaeopteryx siemensii* beschrieben. BRANISLAV

Schließlich kaufte das Britische Museum für Naturgeschichte (damals unter dem Kurator RICHARD OWEN) das Fossil. So gelangte der erste Urvogel nach London. 1863 beschrieb OWEN das Fossil als *Archaeopteryx macura*. Das Fossil wurde in der Kontroverse zwischen OWEN, einem Verfechter der Schöpfungslehre, und THOMAS HUXLEY, einem Vertreter des Darwinismus, zu einem wahrhaften Kronzeugen der aufkeimenden Evolutionstheorie. HUXLEY, der die Theorien DARWINs unterstützte, konnte alle Argumente von OWEN, der im *Archaeopteryx* einen durch göttliche Hilfe mutierten *Pterodactylus* sah, entkräften. Er stellte diesen zwischen die Reptilien und die Vögel als das Bindeglied, welches immer wieder von Gegnern der Evolutionstheorie gefordert wurde. CHARLES DARWIN, der diese Theorie formulierte, hielt sich im Hintergrund und äußerte sich nicht zu diesem Fossil.



Abb. 4: Das Berliner Exemplar



PETRONIEVECS benannte das Fossil 1917 um in *Archaeornis siemensii*, da er der Ansicht war, dass der Berliner Urvogel sich so stark vom Londoner Exemplar unterschied, dass eine neue Gattung gerechtfertigt ist. Heute wird das Berliner Exemplar wieder zu *Archaeopteryx lithographica* gezählt. Glücklicherweise überstand das Berliner Exemplar den zweiten Weltkrieg unbeschadet. Bis 1956 sollte dies auch das letzte gefundene, oder besser gesagt erkannte, Exemplar eines Urvogels bleiben.

Im Jahr 1956 wurde erneut ein *Archaeopteryx* gefunden. Als Fundort wurde die Langenaltheimer Haardt bei Solnhofen angegeben. Dieses Exemplar wurde 1959 erstmals wissenschaftlich untersucht. Das Fossil war im Privatbesitz des Steinbruchbesitzers EDUARD OPITSCH. Dieser stellte das Exemplar als Leihgabe dem Museum auf dem Maxberg zur Verfügung, daher wird dieses Fossil auch als „Maxberger Exemplar“ bezeichnet. 1974 wurde das Fossil wieder in die Privatsammlung von EDUARD OPITSCH integriert und war seitdem nicht mehr im Museum zu sehen. Aus welchen Gründen auch immer war es seitdem auch nicht mehr möglich, das Fossil im Original zu untersuchen, da dies vom Eigentümer immer abgelehnt wurde. Selbst zur *Archaeopteryx*-Konferenz im Jahre 1984, als man sich bemühte, das Original des Maxbergers *Archaeopteryx* verfügbar zu machen, war es nicht möglich, dieses im Original zu zeigen.



Abb. 5: Das Maxberger Exemplar

Als im Jahre 1991 EDUARD OPITSCH im Alter von 91 Jahren verstarb, fand sich in seinem Nachlass keine Spur des *Archaeopteryx*. Soweit wir wissen, gab es keinen offiziellen Verkauf, auch konnte in den Unterlagen keinerlei Hinweis auf den Verbleib des Maxberger Exemplars gefunden werden. Selbst die Untersuchung der diesbezüglich eingeschalteten Staatsanwaltschaft hat keine weiteren Erkenntnisse geliefert. Ob dieses Exemplar nun verkauft, gestohlen oder sonstwie weitergegeben wurde, ist bis heute nicht geklärt. Auch warum die Herausgabe vom Besitzer für weitere Untersuchungen untersagt wurde, ist ein Rätsel. War OPITSCH zu diesem

Zeitpunkt vielleicht gar nicht mehr im Besitz des Fossils? Welche Gründe sollte er sonst gehabt haben, das Fossil nicht mehr leihweise der Wissenschaft zur Verfügung zu stellen? Wir wissen es nicht! Das Fossil ist bis heute nicht wieder aufgetaucht, was natürlich für die Wissenschaft ein sehr großer Verlust ist, da weitere Untersuchungen an diesem Exemplar nicht mehr möglich sind. Aus diesem Grunde wurden damals Stimmen laut, die eine gesetzliche Regelung forderten, wie mit wissenschaftlich wertvollen Fossilien umgegangen werden soll. Eine solche gesetzliche Regelung gibt es allerdings bis heute in Bayern nicht.

1970 ergab sich ein Zufall. JOHN H. OSTROM untersuchte Fossilien im Archiv der Sammlung im Teyler's Museum in Haarlem (Niederlande). Als er die Fossilplatten eines als *Pterodactylus crassipes* beschriebenen Flugsauriers sah, traf ihn wohl fast der Schlag - er hatte die Überreste eines Urvogels vor sich. Deutlich erkennbare Federn entlarvten diesen vermeintlichen Flugsaurier. Da dieses Exemplar schon 1855 gefunden worden war, also vor dem Londoner *Archaeopteryx*, hätte dies eigentlich bedeutet, dass man den Urvogel umtaufen muss. Nach der Nomenklaturregel gilt der älteste vergebene Name als der zu verwendende.



Abb. 6: Das Haarlemer Exemplar

Dies führte anfangs zu Verwirrungen. Die Bezeichnung „*Archaeopteryx lithographica*“ bezog sich ja eigentlich nur auf die isolierte Feder, und nicht auf das Londoner Exemplar. Das Berliner Exemplar wurde zwischenzeitlich als „*Archaeornis siemensii*“ beschrieben, daher wäre eigentlich die korrekte Bezeichnung „*Archaeornis crassipes*“. Die Internationale Kommission für Zoologische Nomenklatur entschied aber das „*Archaeopteryx lithographica*“ zu verwenden ist. Das Londoner Exemplar, *Archaeopteryx macura* sowie auch *Archaeornis siemensii* werden heute der Art *Archaeopteryx lithographica* zugerechnet.



Abb. 7: Das Eichstätt Exemplar

ganz schwache im Streiflicht erkennbare Federabdrücke, was diese falsche Zuordnung erklärt. Ausgestellt ist dieser Urvogel im Jura-Museum auf der Willibaldsburg in Eichstätt.

1987 wurde ein neues Exemplar des Urvogels bekannt [3]. Wie schon beim Eichstätt Exemplar war dieses zuerst fälschlicherweise als *Compsognathus* bestimmt worden. Das Solnhofener Exemplar war ursprünglich im Besitz des Solnhofener Bürgermeisters FRIEDRICH MÜLLER und ging während der wissenschaftlichen Bearbeitung in den Besitz des Bürgermeister Müller-Museums in Solnhofen über. Im Jahre 2001 wurde durch das Oberlandesgericht Nürnberg die Klage eines Steinbruchbesitzers abgewiesen, der behauptet hat, dass dieses Exemplar 1985 aus seinem Besitz entwendet wurde. Da der genaue Fundort nicht nachweisbar ist, ist das Urteil mittlerweile rechtskräftig. Dieses Exemplar ist im Schnitt 10% größer als die bisher gefundenen Exemplare und wurde von PETER WELLNHOFER als *Archaeopteryx*

*lithographica* bestimmt. ANDREJ ELZANOWSKI überarbeitete dieses Exemplar 2001 und ordnete es einer neuen Gattung - *Wellnhoferia grandis* - zu. Begründet wird dies damit, dass der Schwanz kürzer ist als bei den anderen *Archaeopteryx*, das Fußskelett sich unterscheidet und es ein etwas anderes Becken aufweist [4]. Damit gibt es nun zwei Gattungen von Urvögeln, *Archaeopteryx* und *Wellnhoferia*.

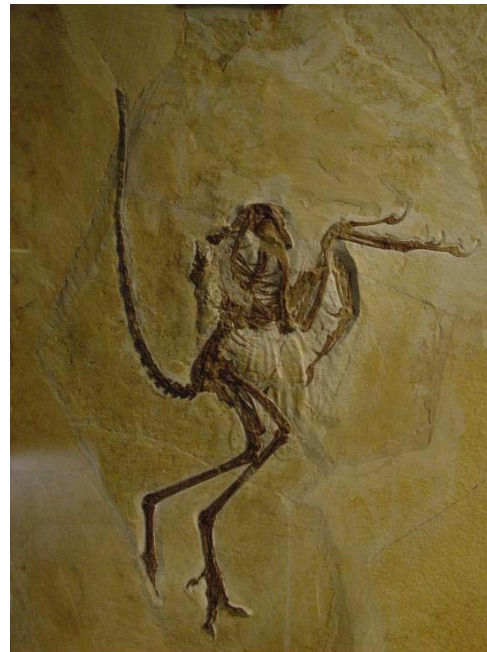


Abb. 8: Das Solnhofener Exemplar



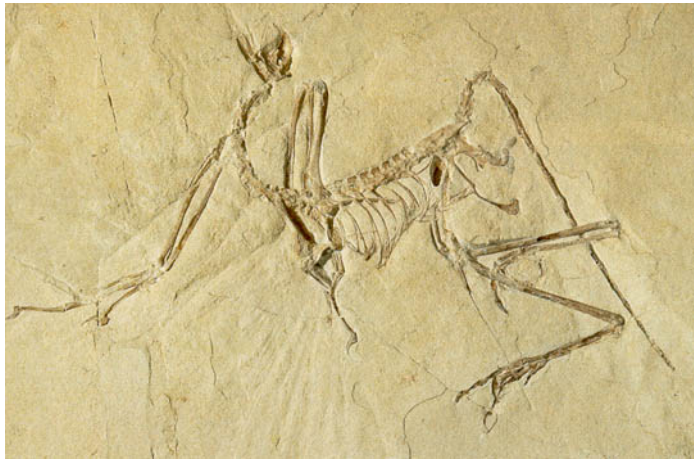


Abb. 9: Das Münchener Exemplar

In den Steinbrüchen des Solnhofener Aktien-Vereins wurde 1992 ein weiteres Fossil eines Urvogels gefunden. Glücklicherweise überließen die Besitzer den Fund zur wissenschaftlichen Bearbeitung der Bayerischen Staatsammlung, wo PETER WELLNHOFER die Bearbeitung vornahm [5]. Dieses Exemplar, zuerst als das „Exemplar des Solnhofener Aktien-Vereins“

bezeichnet, ist das bisher kleinste Fossil. Aufgrund des verknöcherten Brustbeines wurde es als neue Art abgegrenzt: *Archaeopteryx bavarica*. Letztendlich konnte dieses Exemplar von der Bayerischen Staatsammlung aufgekauft werden, und ist nun als „Münchener Exemplar“ bekannt. Dies war aber nur möglich, weil sich viele Spender und Geldgeber gefunden hatten und weil die Besitzer weitaus höhere Gebote ausschlugen und so den Urvogel in seiner „Heimat“ - Bayern - beließen.

Über das 8. Exemplar eines *Archaeopteryx* ist bisher sehr wenig bekannt. Als Fundort wird Workerszell angegeben, und es handelt sich dabei um ein fragmentarisches Exemplar. Leider kennt man weder den Besitzer noch den Aufbewahrungsort. Dieses Exemplar ist auch wissenschaftlich noch nicht bearbeitet worden, daher muss man es als *Archaeopteryx sp.* ansprechen. Bekannt ist bisher nur ein Abguss aus dem Jahre 1997



Abb. 10: 8. Exemplar von *Archaeopteryx*



Abb. 11: „Chicken Wing“

Das 9. Exemplar eines *Archaeopteryx* wurde im Frühjahr 2004 gefunden. Das Fossil ist in Privatbesitz der Familien OTTMANN & STEIL, welche in Solnhofen ansässig sind. Gefunden wurde dieses Fossil zwischen Solnhofen und der Langenaltheimer Haardt, im so genannten „Alten Steinberg“. Dem Finder, der Steinbrecher KARL SCHWEGLER, ist es zu verdanken dass dieses Exemplar den rechtmäßigen Besitzern und damit der Wissenschaft

zugeführt wurde. Der Spitzname „Chicken Wing“, der diesem Exemplar verliehen

wurde, bezieht sich darauf, dass es sich um eine isolierte Schwinge handelt [6]. Die Federn sind im Streiflicht gut zu erkennen. Weitere Teile des Körpers wurden leider nicht gefunden, es ist aber gut möglich dass diese noch in nicht abgebauten Plattenkalken liegen. Dieses Fossil kann als Leihgabe im Bürgermeister Müller Museum in Solnhofen besichtigt werden.

Ob es noch weitere Urvogel-Funde, isolierte Federn oder andere Fossilien, gibt ist nicht bekannt, es ist aber durchaus anzunehmen, dass dies nicht die letzten Funde dieser Art sein werden, da der Plattenkalk systematisch und industriell abgebaut wird. Es bleibt nur zu hoffen, dass eventuelle Funde der Wissenschaft zugänglich gemacht werden und nicht ungesehen in Privatsammlungen verschwinden.

Aufstellung der Funde mit Fundjahr, Bezeichnung und heutiger Zugehörigkeit.

| Fundjahr | Allgemeine Bezeichnung                  | Gattung und Art                        |
|----------|---|--|
| 1855     | Haarlemer Exemplar, 1970 erkannt        | <i>Archaeopteryx lithographica</i>     |
| 1860     | Einzelne Feder - Erstbeschreibung       | <i>Archaeopteryx lithographica</i>     |
| 1861     | Londoner Exemplar                       | <i>Archaeopteryx lithographica</i>     |
| 1877     | Berliner Exemplar                       | <i>Archaeopteryx lithographica</i>     |
| 1951     | Eichstätter Exemplar, 1973 erkannt      | <i>Archaeopteryx lithographica</i>     |
| 1956     | Maxberger Exemplar - verschollen        | <i>Archaeopteryx lithographica</i>     |
| ?        | Solnhofener Exemplar, 1987 erkannt      | <i>Wellnhoferia grandis</i>            |
| 1992     | Münchener Exemplar                      | <i>Archaeopteryx bavarica</i>          |
| ?        | 8. Exemplar, Privatbesitz, 1997 bekannt | <i>Archaeopteryx sp.</i>               |
| 2004     | Chicken Wing - Privatbesitz             | <i>Archaeopteryx cf. lithographica</i> |

## Die Forscher und der Wandel der Zeit

Die Entdeckung und Beschreibung der Feder 1860 wurde in der damaligen Fachwelt zwar als Sensation wahrgenommen, aber man musste annehmen es handele sich bei dem zugehörigen Tier um einen Vogel, da dieses nicht bekannt war. Als das Londoner Exemplar bekannt wurde begannen sich die Paläontologen näher dafür zu interessieren. Wie wir schon gesehen haben, „platzte“ das Fossil in die Zeit, als die Evolutionstheorie in den Kinderschuhen steckte und sich die damaligen Naturwissenschaftler Pro und Contra diesbezüglich gaben. *Archaeopteryx* – als befiedertes Kriechtier beschrieben - passte hervorragend in diesen Kontext. OWEN wollte damit zeigen, dass dies ein von Gott geschaffenes Wesen war, HUXLEY sah darin eine Gelegenheit das Gegenteil zu beweisen. Dieser kam zu dem Konsens, dass *Archaeopteryx* eine Übergangsform vom Reptil zum Vogel war.



Abb. 1: RICHARD OWEN

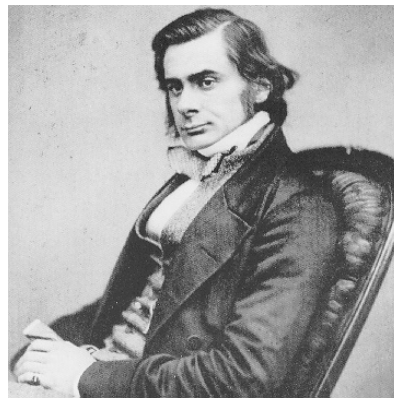


Abb. 2: THOMAS HUXLEY

Einen Mitstreiter in diesem Gelehrtenstreit fand HUXLEY in OTHNIEL C. MARSH, einem amerikanischen Paläontologen, welcher in den USA verschiedene kreidezeitliche Vögel entdeckte und beschrieb. MARSH bearbeitete einen Fund, der ihm von B. F. MUDGE überlassen worden war. Es handelte sich dabei um ein Vogelskelett mit bezahntem Unterkiefer. Zuerst nahm MARSH an, dass der Unterkiefer zu einem unbekannten wasserlebenden Tier gehören musste [2]. Erst einige Monate später erkannte er, dass der Unterkiefer zu dem Vogel, mittlerweile als *Ichthyornis dispar* beschrieben, gehörte. Schon damals erkannte er, dass diese Zähne denen von Dinosauriern ähnlich waren [3]. Ironischerweise wurde der Begriff „Dinosaurier“ einige Jahre zuvor von OWEN geprägt. MARSH unterstützte den Gedanken, dass sich die Vögel aus Dinosauriern entwickelt hatten und gab so HUXLEY Rückendeckung. An dieser Ansichtsweise änderte sich in den letzten Jahren des ausgehenden 19 Jahrhunderts nur noch wenig.



Abb. 3: OTHNIEL C. MARSH



Abb. 4: ROBERT BROOM

Zwar wurde die Theorie unter anderem von ROBERT BROOM angegriffen, allerdings hat es den Anschein, dass dies nicht wirklich wahrgenommen wurde. BROOM arbeitete in Südafrika an Therapsiden und Pseudosuchia und war der Ansicht, dass diese nicht nur die Vorfahren der Dinosaurier, sondern auch die der Vögel darstellen. Als gemeinsamen Vorfahren schlug er *Euparkeria* vor, einen von ihm entdeckten und beschriebenen Pseudosuchier.

1927 kam wieder Bewegung in die Forschung bezüglich der Vögelevolution. Ein dänischer Maler, GERHARD HEILMANN, veröffentlichte ein Werk mit dem Namen „The Origin of Birds“ [4]. HEILMANN, mehr Künstler als Paläontologe, zeigte in diesem Buch auf, dass Vögel und Dinosaurier zwar näher verwandt sein mussten, war aber überzeugt davon, dass sich Vögel nicht aus Dinosauriern entwickelt haben konnten. Mit dieser Aussage widersprach er HUXLEY. Er untermauerte seine Annahme, dass die vogelähnlichen Theropoden (damit bezog er sich wohl hauptsächlich auf *Compsognathus*) keinerlei Anzeichen eines Gabelbeins (Furcula) oder eines Schlüsselbeines aufweisen. Nach DOLLO würde dies eine Dinosaurier – Vogel Evolution unmöglich machen. Dieses Gesetz besagt, dass ein während der Evolution verlorenes Organ (Knochen etc.) nicht wieder entwickelt werden kann. Aufgrund des damaligen schlechten Fossilnachweises in Bezug auf Theropoden waren Schlüssel- und Gabelbeine bei Theropoden unbekannt. HEILMANN ging daher davon aus, dass sich Vögel aus noch unbekannten Vorläufern entwickelten.



Abb. 5: GERHARD HEILMANN

Der von HEILMANN vorgeschlagene hypothetische *Proavis* solle sich aus einem triassischen Vorfahren entwickelt haben und von diesem ausgehend sollen sich *Archaeopteryx* und alle weiteren Vögel entwickelt haben. Damit folgte er BROOMS Meinung. Das Buch wirkte so überzeugend, dass der Gedanke einer Dinosaurier – Vogel Evolution bis in die 70er Jahre keine nennenswerte Rolle mehr spielte. Die Illustrationen HEILMANNs sind mittlerweile Klassiker und die Rekonstruktionszeichnungen suchen nach wie vor ihresgleichen. HEILMANN stellte die Dinosaurier als agile Lebewesen dar. Vielleicht waren es gerade diese lebensnahen Darstellungen, die diese Veröffentlichung so erfolgreich machten.





Abb. 6: *Archaeornis* (*Archaeopteryx*)

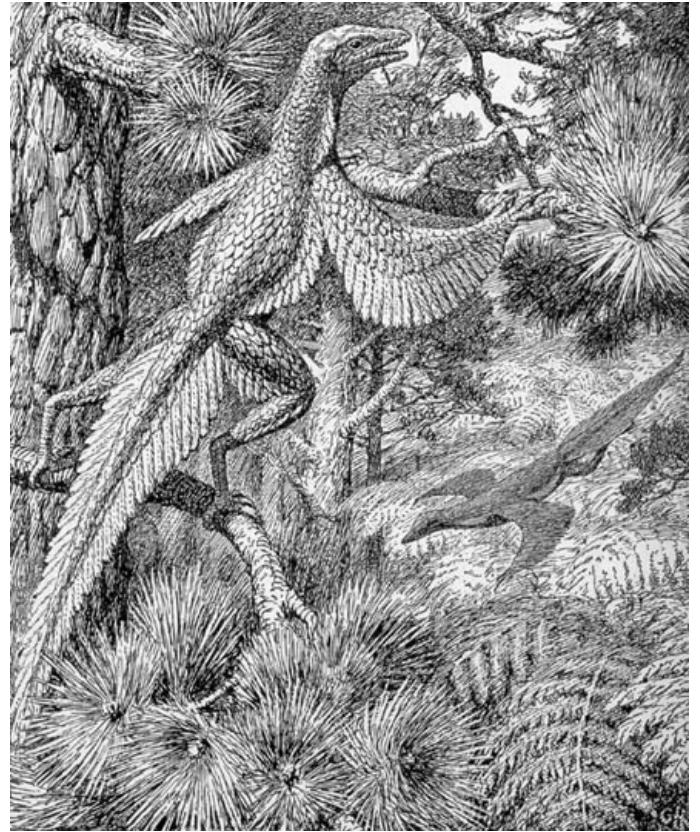


Abb. 7: Hypothetischer *Proavis*



Abb. 8: Kopf von *Archaeopteryx*

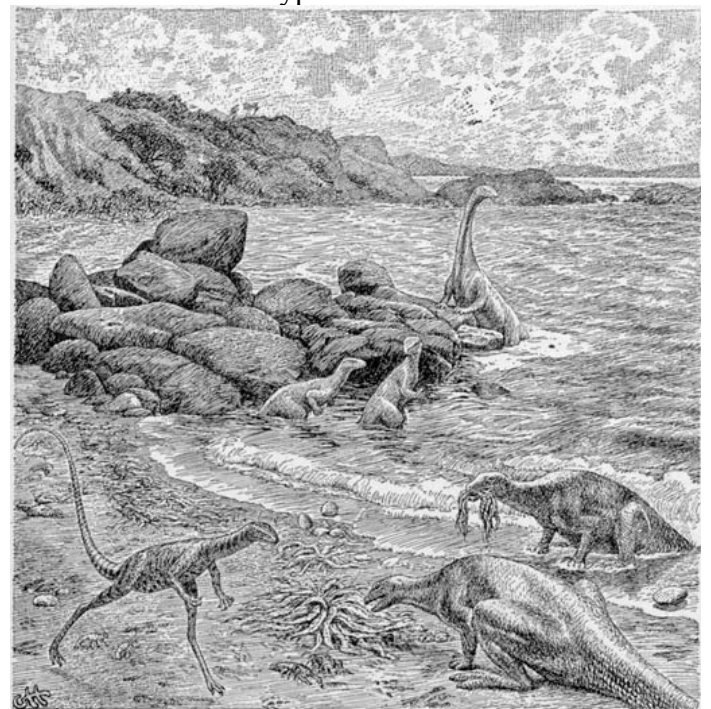


Abb. 9: Szene aus der Trias

Einige Bildbeispiele aus dem Buch „The Origin of Birds“ von GERHARD HEILMANN





Abb. 10: JOHN H. OSTROM

1964 wurde in Wyoming, USA ein neuer Theropode gefunden. Entdeckt und 1969 beschrieben von JOHN H. OSTROM ist der Name *Deinonychus antirrhopus* (Schreckliche Krallen) mittlerweile ein Synonym für karnivore Dinosaurier - ähnlich wie *Tyrannosaurus rex*. Die Ähnlichkeiten im Skelettbau von *Deinonychus* und *Archaeopteryx* führten dazu, dass OSTROM die Dinosaurier - Vogel Theorie erneut untersuchte [5]. Unsere heutige Sicht von *Archaeopteryx* und die der Vogelevolution haben wir zu großen Teilen OSTROM zu verdanken.

Auch die darauf basierende Arbeit von PETER WELLNHOFER, ein Experte in Bezug auf Pterosaurier, führte dazu, dass viele der heutigen Paläontologen mittlerweile davon überzeugt sind dass sich Vögel aus den Dinosauriern, genauer gesagt den Theropoden, entwickelt haben müssen.

In den 70-er Jahren wurde aber auch noch eine andere Theorie erörtert. LARRY MARTIN erörterte die Hypothese, dass sich Vögel eventuell aus Crocodylomorphen entwickelt haben könnten. Er gab aber diese Hypothese kurze Zeit später wieder auf und vertritt heute die Meinung, ähnlich wie ALAN FEDUCCIA, dass sich Vögel aus triassischen Vorfahren entwickelt haben müssen [6].

ALAN FEDUCCIA führte an, dass die Finger von Theropoden sich von denen der Vögel so stark unterscheiden, dass eine Evolution der beiden Gruppen nicht herleitbar ist. Er ist der Überzeugung, dass sich die Vögel und die Dinosaurier konvergent entwickelt haben. Des weiteren brachte er noch einen interessanten Fakt ins Feld. Alle Dinosaurier, die mit *Archaeopteryx* verglichen wurden, wie *Compsognathus*, *Deinonychus* oder auch die Funde aus China, sind entweder genauso alt oder jünger als *Archaeopteryx* – eine Ableitung ist also nur möglich unter der Annahme, dass diese sich in den vergleichbaren Eigenschaften nicht weiterentwickelt haben. FEDUCCIA wird allerdings von Paläontologen stark kritisiert wenn nicht sogar ignoriert, was aber der Forschung in diesem Bereich nicht unbedingt förderlich ist.



Abb. 11: ALAN FEDUCCIA

So existieren auch heute noch zwei verschiedene Theorien der Vogelevolution. Die „Vögel sind Dinosaurier“ - Theorie und die „Vögel sind keine Dinosaurier“ - Theorie.

Aber wo im Vogelstammbaum wird denn *Archaeopteryx* nun eigentlich platziert? Interessanterweise sind sich alle einig dass der Urvogel in einer Seitenlinie, also nicht als direkter Vorfahre, platziert werden muss. Diese Annahme hatte schon HUXLEY geäußert – und sie wurde bis heute beibehalten; also die einzige Aussage in der sich die Forscher über die Jahrhunderte nie widersprochen haben. Der Körperbau unterscheidet sich zu stark von den moderneren kreidezeitlichen Vögeln als dass eine direkte Entwicklungslinie angenommen werden kann. *Archaeopteryx* und seine Urvogelkollegen wie *Wellnhoferia* waren also schon zu dieser Zeit ein „auslaufendes Modell“.

## Vogel oder Reptil – oder beides?

Wenn man sich das Skelett von *Archaeopteryx* genauer ansieht und dieses mit anderen Tieren des Juras vergleicht, wird man sehr schnell erkennen, dass - wenn die Federn bei *Archaeopteryx* nicht wären man diesen unzweifelhaft den Theropoden zuordnen müsste; auf der anderen Seite sind viele Merkmale von *Archaeopteryx* auch bei modernen Vögeln zu finden. Durchleuchtet man die Fossilien wird dies klar.



Abb. 1: Rekonstruktion von *Archaeopteryx*

Der Schädel ist nur am Eichstätter Exemplar vollständig, im Berliner Exemplar sehr beschädigt, sowie am Münchener Exemplar ebenfalls beschädigt erhalten. Bei allen anderen Funden ist kein Schädel vorhanden, wenn man von einigen Bruchstücken beim Solnhofener und Londoner Exemplar absieht. Beim Münchener Exemplar ergab diese unvollständige Erhaltung allerdings die Möglichkeit, die Unterkiefer erstmals genauer von der Innenseite untersuchen zu können, da dieser isoliert auf der Platte liegt. Dieses Exemplar von *Archaeopteryx* besaß so genannte Interdentalplatten zwischen den Zähnen. Dies sind kleine Knochenplättchen zwischen den Zähnen im Kiefer. Sie sind ein Merkmal, das ebenfalls bei theropoden Dinosauriern vorkommt. Mittlerweile sind diese aber nicht nur bei Theropoden sondern auch bei Archosauriern, Crocodylomorphen und anderen bekannt [6].

Damit würde dieses Merkmal beide Theorien der Vogelevolution (triasische Vorfahren, z.B. Archosaurier, wie unter anderem von FEDUCCIA vorgeschlagen, und ebenso die Theropodentheorie) gleichermaßen unterstützen. Die Zähne von *Archaeopteryx* unterscheiden sich von Theropodenzähnen allerdings dadurch, dass diese keine Furchen an den Zahnkanten aufweisen.



Abb. 2: REM Aufnahme des Unterkiefers mit sichtbaren Interdentalplatten

Die Kontrolle der Flugeigenschaften (unabhängig von Gleit- oder Schlagflug) setzt eine angepasste Gehirntätigkeit voraus, wenn gleich diese beim Schlagflug höher ist. Durch die Untersuchung der Gehirnkapsel kann man davon ausgehen, dass das Gehirn des *Archaeopteryx* weit entwickelt war. Die Gehirnpartien, die von Nöten sind einen Flug zu kontrollieren, waren bereits vorhanden, wenn auch noch nicht so stark ausgebildet wie bei heutigen flugfähigen Vögeln.

Um aber die Flugfähigkeit von *Archaeopteryx* zu beurteilen muss man sich ansehen inwieweit sein Skelett dafür die nötigen Voraussetzungen bot. Interessanterweise zeigen sich auch hier Gemeinsamkeiten zu den Theropoden, aber auch zu den Vögeln. Das Vogelskelett verfügt über große Flächen um der Muskulatur, die für den Flug notwendig ist, einen Ansatz zu geben. Hauptsächlich ist dies das Brustbein mit Kiel – jeder, der schon einmal ein Hähnchen gegessen hat, wird dieses Merkmal wohl kennen. Des Weiteren setzt ein Teil der Muskulatur am Gabelbein an. Dieses Gabelbein findet sich bei *Archaeopteryx* als auch bei modernen

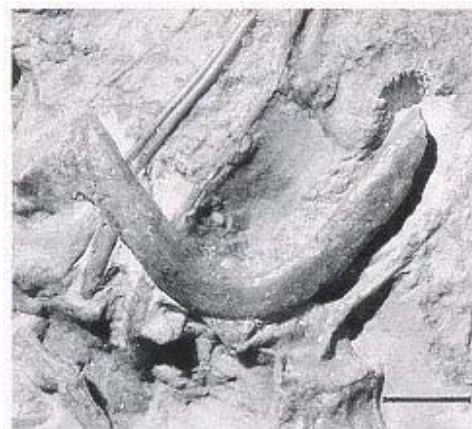


Abb. 3: *Archaeopteryx* – Furcula  
Londoner Exemplar

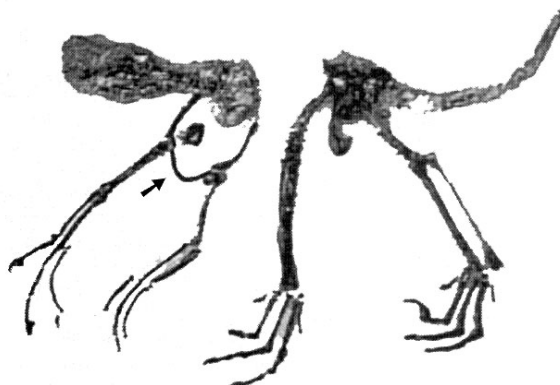


Abb. 4: Raptoren Embryo mit Furcula (Pfeil)

Vögeln. Lange Zeit nahm man an, dass dies ein eindeutiges Merkmal der Vögel ist; mittlerweile sind aber Fossilien von Theropoden gefunden worden, die dieses Gabelbein (Furcula) ebenfalls aufweisen [7]. Interessanterweise nicht nur bei den allseits bekannten Raptoren, sondern auch bei *Tyrannosaurus rex*. „Sue“. Dieses bisher vollständigste Exemplar eines *Tyrannosaurus*, weist ebenfalls ein Gabelbein auf. Zwar wird von

einigen Wissenschaftlern angezweifelt, ob dieses Gabelbein der Theropoden evolutionär mit dem der Vögel gleichgestellt werden kann, aber diese Wissenschaftler müssen sich gleichzeitig die Frage gefallen lassen, ob sie diese Meinung nicht nur vertreten weil sie gegen ihre Theorie der Abstammung der Vögel von Archosauriern spricht. Auch die Frage, warum ein *Tyrannosaurus rex* ein solches Gabelbein benötigt, waren doch die vorderen Gliedmassen reduziert, kann nur durch das Argument eines Rudimentes beantwortet werden. Heutige Wale z. B. haben Rudimente der Hinterbeine – die aufgrund der aquatischen Lebensweise nicht mehr benötigt werden. Dies bedeutet, dass die evolutionären Vorfahren u. a. von *T. rex* dieses Gabelbein durchaus benötigten da dieses ihnen einen evolutionären Vorteil bot – eventuell durch den Anwuchs von Flugmuskulatur? Sicherlich, ein Tier so groß wie *T. rex* kann nicht fliegen, aber die Vorfahren waren vielleicht um einiges kleiner – so groß wie ein Vogel...



Abb. 5: T.rex „Sue“ mit Gabelbein



Abb. 6: Nahaufnahme T. Rex „Sue“

Entwicklungsgeschichtlich hat sich das Gabelbein aus den Schlüsselbeinen (Claviculae) entwickelt, es stellt nichts anderes als zusammengewachsene Schlüsselbeine dar. Die entscheidende Frage ist warum sich dieses Gabelbein ausgebildet hat.

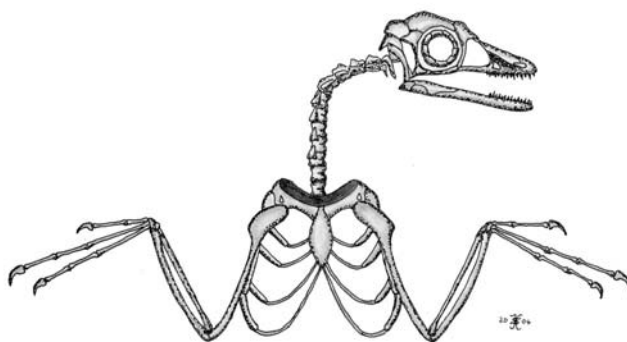


Abb. 7: Gabelbein

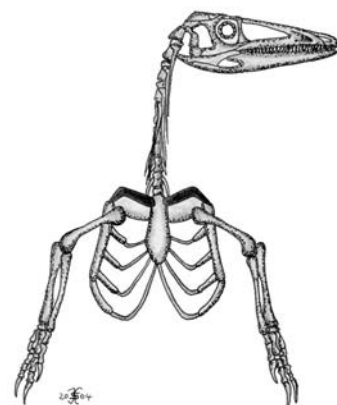


Abb. 8: Schlüsselbein



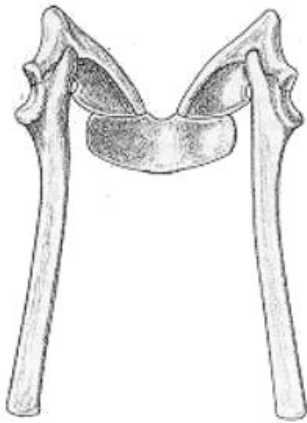


Abb. 9: Rekonstruktion Brustbein beim Münchener Exemplar

Das Brustbein war bei *Archaeopteryx* zwar ausgebildet, wohl aber bei den Exemplaren der Art *Archaeopteryx lithographica* nur verknorpelt vorhanden. Dieses lässt sich beim Berliner Exemplar insofern nachweisen, als sich während der Diagenese (Umwandlung des organischen Materials in anorganisches während des "Versteinerungsprozesses") der vom Knorpel hinterlassene Hohlraum mit Kalzit füllte [8]. Beim Münchener Exemplar, welches als *Archaeopteryx bavarica* einer anderen Art zugeschrieben wird, ist das Brustbein allerdings verknöchert gewesen. Bei allen bisher gefundenen Exemplaren fehlt aber der Kiel am Brustbein, welche sich erst später gebildet haben muss, um die Flugmuskulatur noch besser unterstützen zu können.

Es wird klar, dass das Skelett von *Archaeopteryx* Ansatzstellen für die zum Flug notwendige Muskulatur bot, wenn auch diese noch nicht so weit entwickelt war wie bei späteren kreidezeitlichen Vögeln oder den Vögeln der Neuzeit. Dadurch wird die Vermutung bestätigt, dass *Archaeopteryx* ein, wenn auch nicht besonders ausdauernder, Aktivflieger gewesen sein könnte.

Sehen wir uns aber das weitere Skelett an. Jedes Becken setzt sich aus 3 verschiedenen Knochen zusammen, Ilium (Darmbein), Ischium (Sitzbein) und Pubis (Schambein). Die Dinosaurier werden aufgrund der Beckenform in zwei große Gruppen eingeteilt, die Ornithischia und die Saurischia.

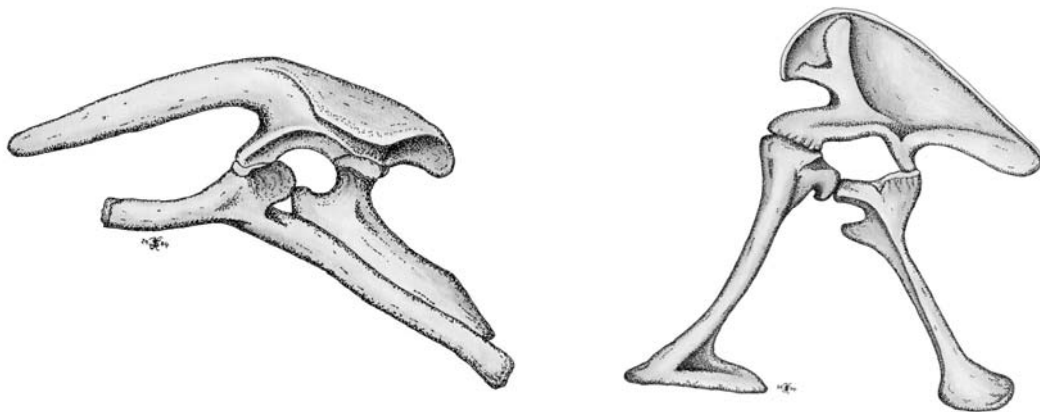


Abb. 10: Ornithischia und Saurischia Becken im Vergleich

Bei den Ornithischia bezieht sich der Name auf das Ischium (Sitzbein). Die deutsche Bezeichnung „Vogelbeckendinosaurier“ ist etwas verwirrend, da das Becken der Ornithischia zwar auf den ersten Blick ähnlich dem eines Vogels ist, aber bei Vögeln neben dem Ischium auch das Pubis (Schambein) nach vorne gerichtet ist, welches bei den Ornithischia nach hinten zeigt. Das Becken der Ornithischia wird als vierstrahlig

bezeichnet, während das der Saurischia eine dreistrahlig Ausrichtung hat. Bei den Saurischier, welche sich weiter in Sauropoden und Theropoden untergliedern, ist das Schambein nach unten gerichtet, das Sitzbein allerdings nach hinten. Durch eine Drehung des Schambeines entsteht aus dem Becken eines Saurischier ein Becken, welches dem eines Vogels entspricht.

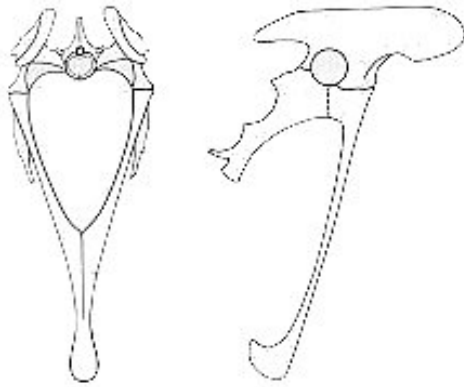


Abb. 11: Becken von *Archaeopteryx*

*Archaeopteryx* hatte ein Becken, welches dieser dreistrahlig Konstruktion der Saurischier entspricht. Besonders die Ähnlichkeit zu den Theropoden springt ins Auge wenn man sich die Becken genau ansieht. Insbesondere das nach unten gerichtete Schambein, das in einer Verdickung endet, zeigt eine weitere Übereinstimmung zwischen *Archaeopteryx* und Theropoden [1].

Auch das Fußskelett von *Archaeopteryx* ist prinzipiell typisch für Theropoden. Die Fußknochen waren - abhängig von der Größe und damit dem Altersstadium des Tieres - teilweise zusammengewachsen. Bei heutigen, modernen Vögeln sind diese komplett verschmolzen, was eine evolutionäre Abfolge erkennen lässt [1]. Interessant ist die Tatsache, dass dies abhängig vom Alterstadium der Tiere ist. Beim Maxberger Exemplar beginnen die Mittelfußknochen zu verwachsen, beim kleinsten Urvogel (Münchener Exemplar) liegen diese noch völlig getrennt und beim bisher größten Urvogel, *Wellnhoferia grandis* (Solnhofener Exemplar) sind diese schon komplett verwachsen. In Bezug auf das Altersstadium lässt sich bemerken: Je älter das Tier, desto verwachsener sind die Mittelfußknochen.

Der Schwanz, bestehend aus 23 Wirbeln, ist zweifellos ein Merkmal welches sich bei Sauriern wiederfindet. Dieser war bei *Archaeopteryx* nicht zu 100% beweglich sondern im hinteren Bereich durch

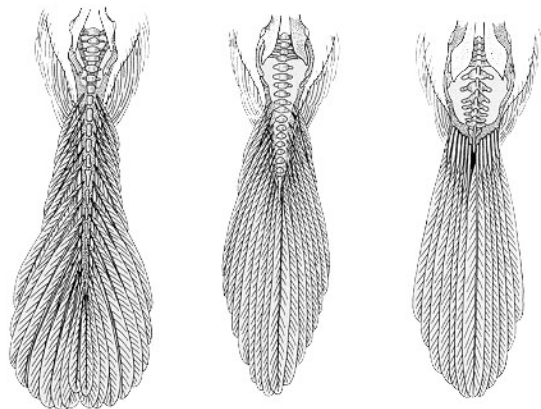


Abb. 12: Theor. Evolution zum Pygostyle  
Rechts: Urvogel, Links: Pygostyle

Wirkelfortsätze verklammert. Derartige Verklammerungen gibt es auch bei Raubdinosauriern. Zweifelsfrei hatte diese Anpassung bei *Archaeopteryx* einige Vorteile, da ein komplett beweglicher Schwanz beim Flug schwieriger zum Steuern einzusetzen ist [7]. Dieser knöcherne Schwanz wurde in der weiteren Evolution reduziert und dafür das so genannte Pygostyle (Bürzel) gebildet. An diesem setzen bei den heutigen Vögeln die Schwanzfedern an. In

der embryonalen Entwicklung vieler heutiger Vögel kann nachgewiesen werden, dass diese zuerst längere Schwanzwirbel ausbilden, welche dann später zu dem typischen Pygostyle zusammenwachsen [9].

Die Wirbel von *Archaeopteryx* haben relativ flache Gelenkflächen und ähneln darin den Wirbeln von coelurosauriden Dinosauriern sowie den Archosauriern. Damit unterscheiden sie sich allerdings von typischen Vogelwirbeln, die ein Sattelgelenk aufweisen [10].

Ein weiteres Merkmal das auf Saurier als Vorfahren hindeutet sind die Gastralien. Diese Bauchrippen finden sich bei Theropoden wie auch bei *Archaeopteryx* [7]. Es ist wahrscheinlich, dass diese Bauchrippen bei den Nachfahren mit dem verknorpelten Brustbein zusammenwuchsen, um so letztendlich das in heutigen Vögeln zu findende Brustbein zu bilden.

Auf Rekonstruktionen fällt sofort auf, dass die Schwingen von *Archaeopteryx*-Krallen an den Flügeln tragen. Die Hand hatte drei Finger die in Krallen endeten. Die Hand - sowohl die Finger wie auch die Handwurzel - ist denen theropoder Saurier erstaunlich ähnlich [1]. Die Hand von *Archaeopteryx* lässt sich aber auch mit der Hand von modernen Vögeln vergleichen. So stimmen im Einzelnen die Proportionen und die Form der Metacarpalia (Mittelhandknochen) und Carpalia (Handwurzelknochen) überein oder lassen sich voneinander ableiten, wobei bei modernen Vögeln diese Elemente teilweise miteinander verschmelzen aber embryologisch nachweisbar sind [2].

Äußerst problematisch für die evolutionäre Zuordnung ist allerdings die Tatsache, dass moderne Vögel die Hand mit dem 2., 3. und 4. Finger bilden, während man bei Theropoden vom 1., 2. und 3. Finger ausgeht. Zur Erklärung sei zu sagen, dass Biologen die Finger numerisch ansprechen und damit Zuordnungen möglich sind, wobei die Zählung bei 1 = Daumen anfängt und damit korrespondiert. Die Hand bei modernen Vögeln ist zusammengewachsen, im embryonalen Stadium lassen sich aber alle 5 Finger nachweisen, welche im weiteren Entwicklungsverlauf des Embryos reduziert werden, wobei der 2., 3. und 4. Finger zusammenwachsen und die Schwinge bilden. Dies wurde bei Hühnern sowie auch bei Straussenvögeln nachgewiesen [3]. Bei Theropoden geht man - soweit der Fossilnachweis dies belegt - davon aus, dass sich während der Entwicklung der Theropoden der vierte und fünfte Finger reduzierten und sich so die Hand mit drei Fingern bildete. Diese Entwicklung lässt sich besonders gut bei *Herrerasaurus* zeigen, da bei diesem der vierte und fünfte Finger schon sehr stark reduziert war. *Herrerasaurus* stammt aus der späten Trias und stellt einen primitiven Theropoden dar. Es gibt aber Hypothesen, dass diese Reduzierung bei *Herrerasaurus* nicht als typisch für die Theropoden des Juras zu sehen ist.

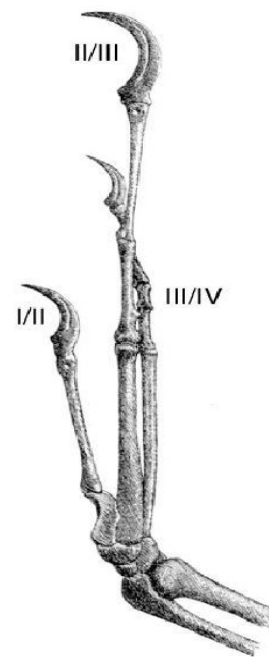


Abb. 13: *Archaeopteryx* Hand



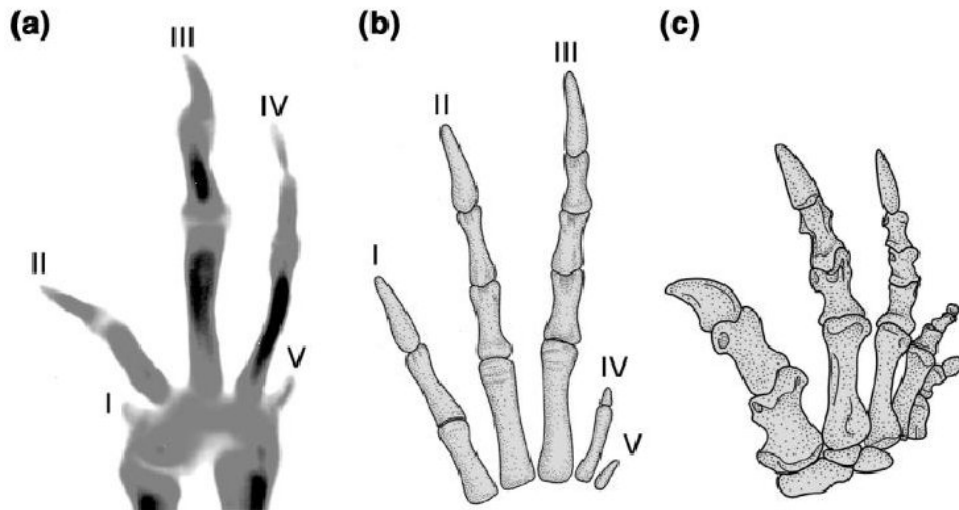


Abb. 14: Hände: 14 Tage alter Strauss (a), Herrerasaurus (b) und Plateosaurus (c)

Trotzdem wird es mittlerweile unter Paläontologen als so gut wie gesichert angesehen dass die Hand von Theropoden aus dem 1., 2. und 3. Finger gebildet wird, wohingegen die Hand von modernen Vögeln nachweislich aus dem 2., 3. und 4. Finger besteht.

Aus diesem Grund wird u. a. von ALAN FEDUCCIA die Theorie der Theropodenabstammung verneint, FEDUCCIA – wie schon erörtert (siehe Seite 18) - vertritt die Ansicht dass sich Vögel aus Archosauriern entwickelt haben, welche auch gleichzeitig als Vorfahren der Theropoden angesehen werden.

Um dieses Problem in Bezug auf die Theropodentheorie zu lösen wurden zwei Hypothesen erörtert. Die erste geht davon aus, dass theropode Vorfahren der Vögel ursprünglich den 1., 2. und 3. Finger innehatten und, vor der Abspaltung der Vögel, eine homologe Verschiebung der Finger stattfand. Diese Verschiebung wurde zumindest bei einer Zehe bei Vögeln schon beobachtet. So ist es z. B. bei baumkletternden Vögeln (z.B. Spechten) der Fall dass zwei Zehen nach hinten gerichtet sind um einen besseren Halt am Baumstamm zu erreichen. Dabei wurde eine Zehe, die ursprünglich die 4. Zehe war, so umgewandelt, dass diese jetzt als die erste Zehe angesprochen werden muss. Eine ähnliche Umwandlung findet sich auch bei Pelikanen und anderen Vögeln [4].

Die zweite Hypothese geht davon aus dass sich die Hand der Theropoden, entgegen der bisherigen Annahme, aus den Fingern 2, 3 und 4 bildete, und damit die gleichen Finger wie heutige Vögel hatten. Dies lässt sich durchaus begründen, wenn man davon ausgeht dass die genaue Entwicklungslinie der Theropoden leider bisher noch nicht ausreichend erforscht ist um eine letztendliche Aussage zu treffen. Während *Herrerasaurus* den vierten und fünften Finger stark reduziert hatte, was ja letztendlich gegen die Theropodentheorie sprechen würde, könnte es sein, dass z. B. bei *Ornitholestes* - je nachdem ob sich zuerst der erste oder fünfte Finger reduziert hatte - die 4 Finger (wobei von einem nur noch ein Rudiment erkennbar ist) als 1, 2, 3 und 4 oder 2, 3, 4 und 5 anzusprechen sind [2][4]. Je nachdem welche evolutionäre Linie

nun tatsächlich von den triassischen Vorfahren zu den jurassischen Theropoden führt, würde dies die Problematik erklären können.

Interessanterweise ist diese Debatte an sich nicht neu, wurde doch diese Problematik schon 1984 in der Internationalen Archaeopteryx-Konferenz von einigen Rednern eingehend beleuchtet [5].

Ein weiteres Element, welches auf eine Verwandtschaft von Vögeln und Dinosauriern hindeutet, ist der sogenannte Semilunate Carpal. Dies ist ein Halbmond-förmiger Knochen des Handgelenkes, der aus zwei Handwurzelknochen zusammengewachsen ist. Dieser ist, neben *Archaeopteryx*, auch in einigen weiteren Theropoden nachgewiesen, wie z.B. *Deinonychus*.

Die Federn sind ohne Zweifel ein Merkmal das man eindeutig den Vögeln zuordnen möchte, wenn nicht mittlerweile gefiederte Dinosaurier gefunden worden wären. Soweit die Federstrukturen des *Archaeopteryx* sich untersuchen lassen, unterscheiden sich diese sich nicht von denen eines modernen Vogels. Die Schwungfedern weisen die gleichen aerodynamischen Strukturen auf, was ebenfalls auf Flugfähigkeit deutet. Federn an sich können aber nicht erstmalig beim *Archaeopteryx* aufgetreten sein, sondern müssen wohl schon einige Millionen Jahre früher entstanden sein, da diese ja bei *Archaeopteryx* schon voll entwickelt waren – man aber frühere Entwicklungsstufen erwarten muss.

## Rekonstruktion

Der Urvogel war in etwa so groß wie eine Taube, ein besserer Vergleich ist aber die Elster, da diese neben der Körpergröße durch die langen Schwanzfedern auch in etwa die Form von *Archaeopteryx* wiedergeben kann.

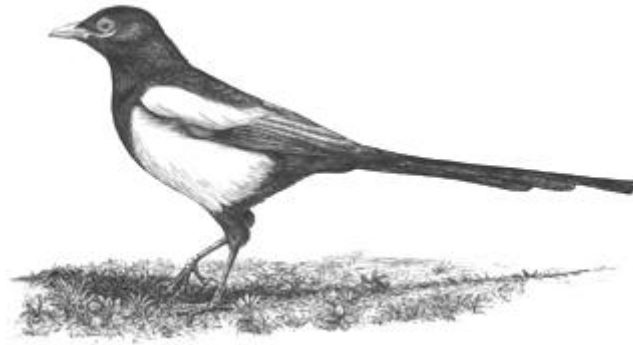


Abb. 1: Elster (*Pica pica*)

Die Vorderkrallen des Urvogels standen nicht so weit aus den Flügeln heraus wie auf dem meisten Rekonstruktionszeichnungen erkennbar, sondern waren wohl allenfalls bei genauerem Hinsehen zu erkennen, da diese von Federn bedeckt waren. Auch konnte *Archaeopteryx* die Flügel noch nicht so wie heutige Vögel auf den Rücken falten, sondern diese standen etwas vom Körper ab wenn diese in Ruheposition waren [1], wenngleich nicht ganz so weit wie in Abbildung 2 gezeigt.

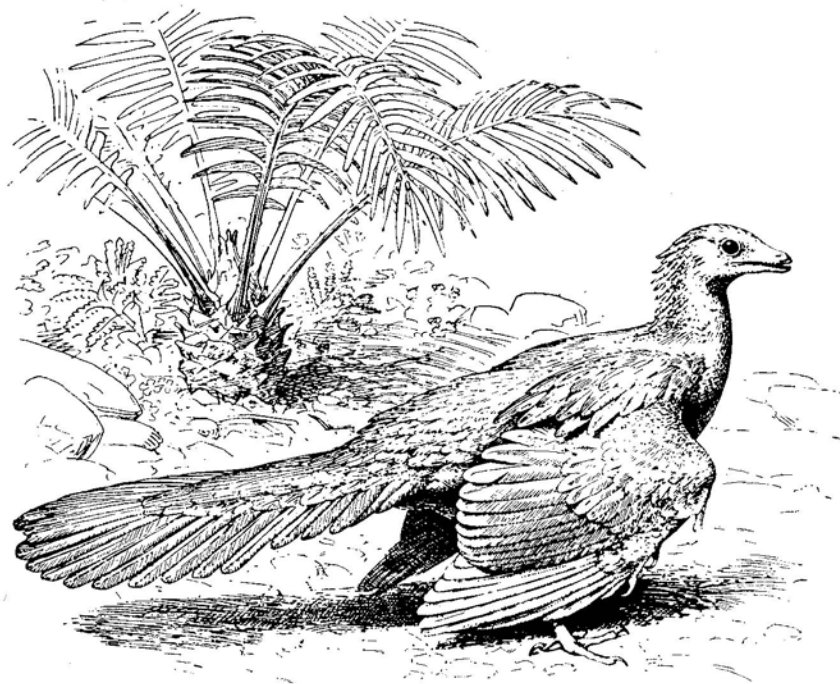


Abb. 2: Flügelhaltung von *Archaeopteryx*

*Archaeopteryx* war wohl eher ein Bodenbewohner, worauf die Füße hindeuten. Es war ihm wohl nicht möglich Bäume kletternd zu besteigen, da dies wohl das Federkleid beschädigt hätte. Für einen Vogel ist es aber wichtig gerade dieses zu pflegen um die Flugfähigkeit zu erhalten. Auch die Befunde an den Krallen sprechen gegen einen Baumkletterer. Daher können wir auch davon ausgehen das *Archaeopteryx* noch nicht in den Bäumen gebrütet hat, sondern auf dem Boden, wie seine Vorfahren. Die Eier waren nicht größer als 3 cm, was aus der Beckenöffnung abzuleiten ist [2]. Ob die Nester bebrütet wurden oder nicht ist nicht bekannt, da aber das Klima subtropisch war könnte es gut möglich sein das die Nester nicht von den Alttieren bebrütet wurden, sondern der Sonne diese Aufgabe überlassen wurde. Ebenso können wir nichts über eine eventuelle Brutpflege sagen.

Natürlich ist es uns leider nicht möglich etwas über die Farbgestaltung des Gefieders zu sagen. Es ist aber gut möglich das *Archaeopteryx* ein farbenprächtiges Federkleid trug. Eventuell gab es auch Unterschiede zwischen den Geschlechtern, aber dies bleibt natürlich Spekulation, was sich bei vielen Rekonstruktionen widerspiegelt.

Die Zähne weisen *Archaeopteryx* als Karnivoren, also Fleischfresser aus. Die Kost könnte aus kleineren Eidechsen und Insekten bestanden haben. Da er noch nicht in der Lage war seinen Flug so perfekt zu beherrschen wie die zur gleichen Zeit lebenden Flugsaurier, können wir Fisch als Nahrung wohl ausschließen, da diese ja im Flug erbeutet werden müssen.



Abb. 3: *Archaeopteryx* Modell im Jura-Museum Eichstätt

## Federevolution – woher und warum

Wann Federn entstanden sind ist leider unklar, darüber wissen wir zu wenig. Man geht davon aus, dass sich die Federn aus Schuppen entwickelt haben. Der grundlegende Mechanismus der Feder ist weit älter als *Archaeopteryx*, wie durch entsprechende Funde belegt ist. Verlängerte Schuppen, die wohl als Tragfläche beim Schweben fungierten, finden sich beim *Longisquama insignis* aus der Trias. Bereits vor über 30 Jahren in Mittelasien gefunden, ruhte der *Longisquama* lange in den Archiven. Wenn auch einige Autoren dieses Fossil in den 80er Jahren erwähnten, wurde erstmals 1970 eine Beschreibung veröffentlicht, allerdings wurden neuere Untersuchungen erst durch den Fall des eisernen Vorhanges und die Entspannung in der Politik der Weltmächte möglich,

Wissenschaftler der Oregon State University entwickelten die Theorie, dass es sich bei den langen Fortsätzen nicht um Schuppen, wie ursprünglich angenommen, sondern um Federn handelt. In einer erneuten Untersuchung durch Wissenschaftler des ROM (Royal Ontario Museum) wurde allerdings bestätigt, dass es sich bei den Strukturen um lange Schuppen handeln muss[1]. Somit kommt das Tier an sich zwar nicht als Federvorläufer in Frage, zeigt aber auf, dass verlängerte Schuppen sich zum einen im Fossilnachweis generell finden lassen und sich eventuell zum Fliegen bzw. Gleiten eigneten und dazu eingesetzt wurden. Man kann diese Schuppen daher durchaus als Vorstadium in einer Federentwicklung sehen.



Abb. 1: Fossil von *Longisquama*



Abb. 2: Rekonstruktion

Da Federn bei modernen Vögeln für den Flug und zur Wärmeisolierung wesentlich sind, wird allgemein angenommen, dass ihr Ursprung damit zusammenhängen muss. Allerdings ist es kaum denkbar dass sich Federn sofort zum Fliegen entwickelt haben. Die Entwicklung einer Flughaut, wie bei Flugsauriern oder Fledermäusen, würde diese Anpassung weit einfacher nachvollziehbar machen als die Komplexität einer Feder. Bleibt also bei der Betrachtung erst einmal nur der Faktor Wärmeisolierung.

Eine Wärmeisolierung macht aber nur Sinn wenn das Tier selber Wärme produzieren kann, wechselwarme Tiere sind auf Wärmezufuhr von aussen angewiesen und da wäre eine Isolierung eher ein Hindernis. Vögel sind Warmblüter, daher liegt die Folgerung nahe, dass auch die Vorfahren Warmblüter gewesen sein müssen. Der Fossilnachweis kann in dieser Richtung ebenfalls weitere Hinweise geben. 1993 wurde in South Dakota, in der für Dinosaurierfunde bekannten Hell Creek Formation, ein Dinosaurier gefunden bei dem das Herz erhalten ist. Dieser Dinosaurier, ein *Thescelosaurus* (zu den Ornithischia gehörend), hatte ein Herz, das ähnlich dem eines Vogels oder Säugetieres aufgebaut war. Willo, wie dieser Saurier mit Spitznamen



heißt, zeigt also, dass die Dinosaurier einen höheren Metabolismus hatten als z. B. Krokodile. Daraus resultiert, dass diese sich in der Entwicklung den Warmblütern zumindest angenähert haben. Es ist also gut vorstellbar, dass die Schwestergruppe der Ornithischia, die Saurischier, sich noch weiter in dieser Richtung entwickelten. Diese Vermutung wird bestätigt durch Fossilienfunde aus der frühen Kreidezeit in Nordchina. Das Fossil von *Sinosauropteryx prima* weist auf Schultern, Nacken, Teilen des Hinterleibs und des Schwanzes Strukturen auf, die teilweise als federähnlich gedeutet wurden. Es ist allerdings noch unklar ob diese Strukturen auf oder unter der Haut waren, daher ist man mittlerweile vorsichtiger mit der Deutung dieser Strukturen.

Ob diese Strukturen nun aber wirklich als Federn oder zumindest als Federvorläufer anzusprechen sind, wird in Frage gestellt, da sich ähnliche Strukturen auch beim rezenten Bindenwaran (*Varanus salvator*) finden lassen [2]. Dieser hat Collagenfasern unter der Haut, welche den Schwanz unterstützen. Was allerdings diese Collagenfasern bei *Sinosauropteryx* – so es denn welche sind – hätten unterstützen sollen bleibt unklar. Die weitere Untersuchung von *Sinosauropteryx* lässt aber vermuten, dass dieser vom Metabolismus her mit heutigen Reptilien vergleichbar ist.



Abb. 3: *Sinosauropteryx prima* mit federähnlichen Strukturen

Aber auch das soziale Verhalten von Dinosauriern lässt Rückschlüsse zu, ob diese in der Lage waren Körperwärme selber zu produzieren. Als Dinosaurierfossilien neben Nestern mit Eiern gefunden wurden, gab man diesen Tieren den Namen *Oviraptor*, was soviel wie Eierräuber bedeutet. Man nahm fälschlicherweise an, dass diese Tiere als Eierdiebe die Nester anderer Dinosaurier plündern, da man die Eier *Protoceratops* zuschrieb. Später stellte sich heraus, dass es sich bei den Gelegen um die Nester der *Oviraptoren* handelte. 1993 wurden bei einer Expedition des American Museum of Natural History solche Nester mit Embryonen von *Oviraptoren* gefunden. Unter anderem auch ein *Oviraptor* sitzend auf einem Nest mit Eiern – so als würde er brüten!

Welchen Grund sollte dieses Tier gehabt haben sich auf die eigenen Eier zu setzen, wenn nicht diesen Wärme zu spenden und diese damit zu bebrüten? Ein

Verteidigungsverhalten würde sich anders darstellen, da der Saurier dann sicherlich nicht auf den Eiern sitzen geblieben, sondern diese aktiv verteidigt hätte - und dies wäre stehend weitaus effektiver gewesen [3]. Dieses Verhalten lässt sich bei heutigen Vögeln ja nachvollziehen.

Aufgrund dieser Hinweise kann man davon ausgehen, dass Dinosaurier wohl keine wechselwarmen Tiere waren, sondern in der Lage den Wärmehaushalt ihres Körpers selbst zu regulieren. Genau unter diesen Voraussetzungen macht eine Isolierung des Körpers Sinn. Fraglich ist nur, warum sich derartig komplexe Federn gebildet haben und nicht einfachere Strukturen wie zum Beispiel ein Haarkleid wie bei Säugetieren. Problematisch ist auch, dass Federn bei flugunfähigen Vögeln, wie z. B. dem Strauß, sich zu reinen Daunen entwickelten, die zwar gut isolieren aber keinerlei aerodynamische Funktion mehr haben [4]. Aus welchem Grunde also sollten sich Federn, die eine breite, großflächige Form haben, entwickeln wenn diese zuerst nur zu Isolationszwecken benötigt wurden?

Tiere, die ihren Wärmehaushalt selber regulieren, müssen sich in der Regel nicht nur

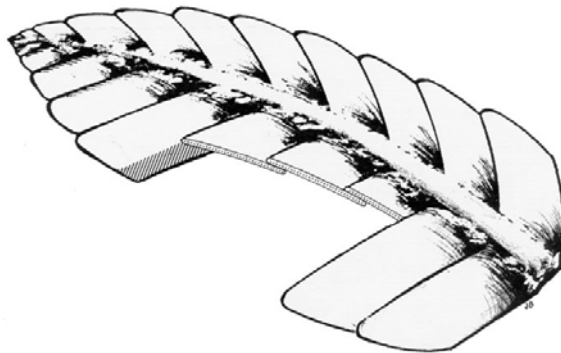


Abb. 4: Hypotetisches Zwischenstadium von Schuppe zu Feder

vor Auskühlung schützen, sondern auch vor Überhitzung. Dies gilt aber auch für wechselwarme Tiere, eine Überhitzung kann diesen genauso schaden. Bei Eidechsen zeigte sich in Untersuchungen, dass die Schuppen dort verlängert sind wo diese das Tier vor Sonnenhitze schützen. Das würde für breite Federn mit ihrer komplexen Struktur ebenso zutreffen und würde im Vergleich zu haarigen Strukturen sogar ein Vorteil sein [5]. Es ist also

durchaus möglich, dass Federn sich aufgrund der Isolation und auch als Schutz vor Überhitzung gleichermaßen entwickelten.

Von diesem Stadium der Federevolution ist es nur noch ein kleiner Schritt zu Federn, die dem Tier den Flug ermöglichen. Wie es zum Vogelflug gekommen ist, kann mit zwei Theorien erklärt werden: Entweder vom Boden in die Luft hinauf, oder von Bäumen herab zum Boden.

# Evolution des Vogelfluges

Die Evolution des Vogelfluges kann, ähnlich wie die der Feder, nur theoretisch bearbeitet werden. Prinzipiell dreht sich aber alles um die Frage, ob sich diese vom Boden aus entwickelt hat oder ob man eine von Bäumen herabgleitende Entwicklung annehmen muss.

Der größte Vorteil einer Evolution von „oben nach unten“ ist die, dass dafür kaum Kraft aufgewendet werden muss – Gleiten ist relativ kraftsparend. So ist es



Abb. 1: Flugdrache

vorstellbar, dass sich Vogelvorläufer von Baum zu Baum gleitend fortbewegt haben. Ein hypothetischer Vogelvorläufer müsste also zum einen in der Lage gewesen sein auf Bäume zu klettern und zum anderen sich zumindest gleitend im Luftraum bewegen zu können. Reptilien haben diesen Lebensraum erobert, ein Beispiel ist ja der heutige Flugdrache (*Draco*). Der Flugdrache hat verlängerte Rippen, die eine Art Flughaut

umspannt. Damit ist dieser in der Lage von Bäumen herab zu gleiten, allerdings kann er diesen Gleitflug weder steuern noch bremsen. Da sich der Körperbau allerdings derartig von dem der Vögel unterscheidet, muss man Flugdrachen (so auch permische Vertreter) als Vogelvorläufer ausschließen.

*Archaeopteryx* bringt zwar die Möglichkeit des Baumkletterns mit (Krallen an den Flügeln), allerdings spricht zum einen das Habitat, zum anderen der Befund an den fossil erhaltenen Krallen dagegen. Interessanterweise hat man in China einen kleinen

Saurier, *Microraptor gui*, gefunden, welcher auch an den Hinterfüßen Konturfedern besaß. Damit, so nimmt man an, konnte er quasi mit 4 Flügeln von Baum zu Baum schweben [1]. Es wird vermutet, dass auch *Archaeopteryx* solche Federn an den Beinen besessen hat, allerdings so klein, dass diese nicht zum Fliegen bzw. Gleiten hätten eingesetzt werden können [2]. Allerdings könnte dies ein Hinweis darauf sein, dass sich das Fliegen von oben nach unten, aus in den Bäumen lebenden



Abb. 2: *Microraptor gui*

Tieren, entwickelt haben könnte. Es stellt sich aber die Frage, warum Dinosaurier, wenn diese die Vorfahren der Vögel sind, zuerst Bäume als Lebensraum erschlossen, da diese ja ursprünglich bodenbewohnende Tiere waren. Als mögliche Erklärung kann unter anderem das Entziehen vor Fressfeinden genannt werden.

Sollte sich die Abstammung von Archosauriern als richtig erweisen, ist es ebenso denkbar, dass sich der Vogelflug von Bäumen herab entwickelte wenn diese



Zwischenstufen, welche fossil nicht nachgewiesen sind, Bäume als Lebensraum (zum Schlafen oder Nestbau) eroberten, bevor sich die Flugfähigkeit entwickelte. Allerdings ist es ebenso gut möglich, dass sich die Konturfedern an den Hinterextremitäten bei *Microraptor* erst durch seine angepasste Lebensweise vergrößerten und nicht wie bei *Archaeopteryx* klein blieben.

Die zweite Theorie geht davon aus, dass sich der Vogelflug vom Boden aus entwickelte. Theropoden, welche als Vorfahren ja in Frage kommen, sind soweit wir wissen allesamt bodenbewohnende Tiere gewesen. Welchen Grund sollte ein Theropode gehabt haben auf einen Baum zu klettern bevor sich die Flugfähigkeit entwickelt hatte? Nahrungssuche kann eigentlich fast ausgeschlossen werden, da Theropoden und auch *Archaeopteryx* carnivor lebten. Dies kann man aufgrund der Zähne annehmen. OSTROM schlug daher vor, dass sich der Flug vom Boden aus entwickelt hat. Die Idee, dass sich kleine bipede Theropoden mit den Vorderextremitäten ihre Beute, zum Beispiel Insekten, fingen, indem Sie diese wie Fliegenklatschen benutzten ist aber zu verneinen. Dies kann in der Tatsache begründet werden, dass eine Fliegenklatsche kaum Luftwiderstand hat und so das Insekt beim zusammenklatschen nicht durch den entstehenden Luftstrom weggedrückt wird. Dies wäre aber bei Federn, die eine geschlossene Fläche bilden, der Fall.

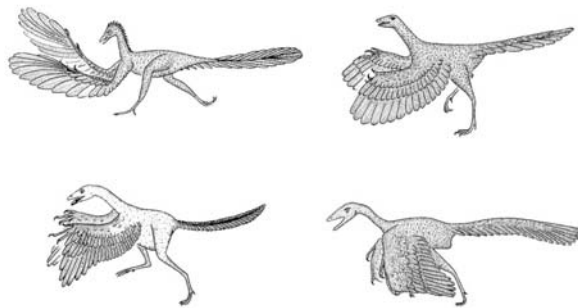


Abb. 3: Hypotetische Protoflügel zum Insektenfangen



Abb. 4: Rekonstruktion des Flügels bei *Archaeopteryx*

Wozu hätten also diese „Protoflügel“ benutzt werden können, welchen Vorteil hätten diese dem Tier gebracht? Davon ausgehend, dass das „Lufrudern“ dem Tier eine schnellere Laufgeschwindigkeit ermöglicht hat, indem es so unterstützenden Antrieb durch den Luftwiderstand bekam, lässt zwei Vorteile erkennen. Erstens konnte so zum Beispiel ein schnell fliegendes Insekt leichter eingeholt und mit dem Maul gefasst werden, zweites konnte das Tier so seine Fluchtgeschwindigkeit steigern. Man muss davon ausgehen, dass Tiere in der Größe wie z.B. *Compsognathus* eine Menge Fressfeinde hatten. Die Flucht vor diesen konnte durch die Steigerung der Geschwindigkeit einen Überlebensvorteil ergeben, der sich – durch die Verlängerung der Federn – noch weiter steigern ließ. Über kurze Distanzen war dann eventuell ein Abheben möglich und dieses hat sich weiter zum Vogelflug entwickelt. Das Entkommen vor Fressfeinden, nicht mehr horizontal laufend sondern vertikal in die Luft.

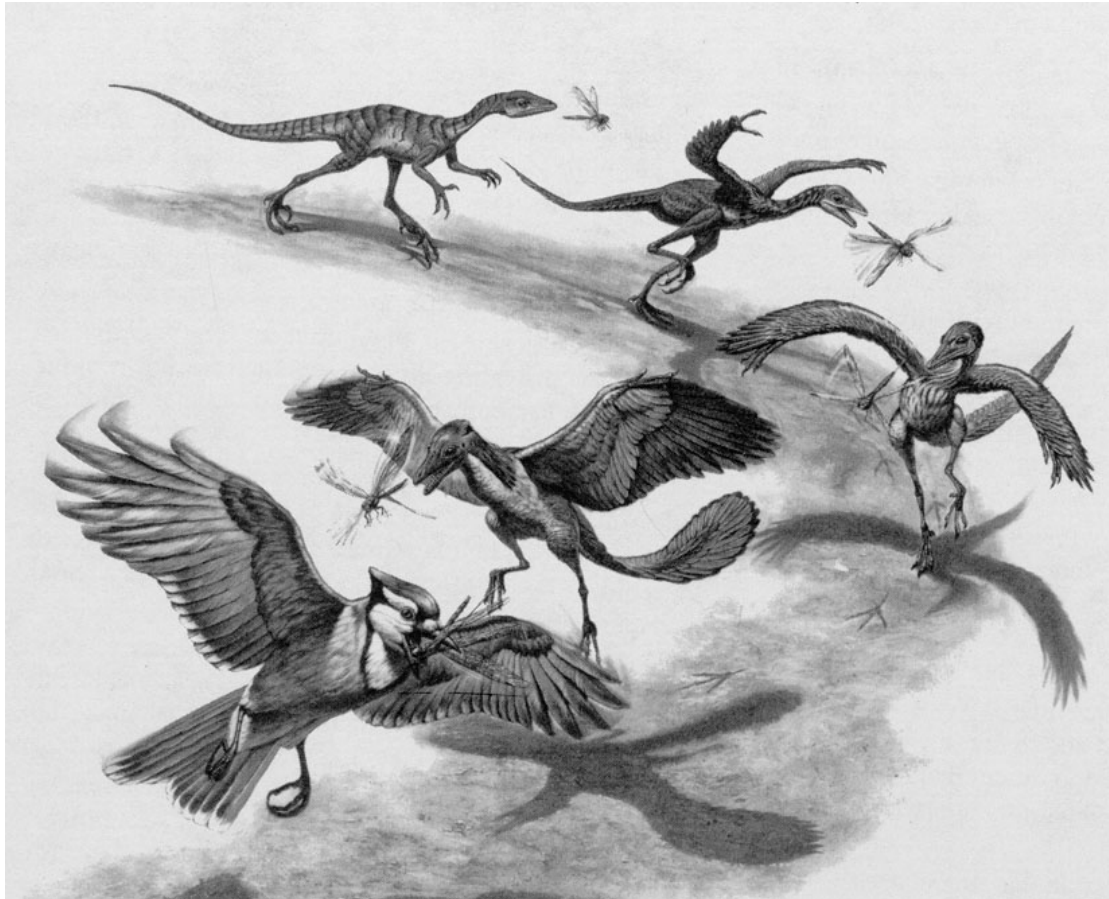


Abb. 5: Entwicklungsstufen des Vogelfluges in einer Zeichnung dargestellt

## Geflattert oder Geflogen?

Konnte *Archaeopteryx* nun fliegen, flattern oder gar nur von Baum zu Baum gleiten?

Wie wir gesehen haben hatte er die grundlegenden anatomischen Voraussetzungen zum aktiven Schlagflug und auch die Hirntätigkeit scheint an diese Lebensweise angepasst zu sein. Daher kann man einen rein gleitenden Flug fast ausschließen.

Auch die Tatsache, dass der Fundort zur Jurazeit über Wasser (Lagunen) lag, spricht eher für aktiven Flug. Selbst wenn die gefundenen Exemplare von *Archaeopteryx* im Sturm über die Lagune geraten wären, kann dies nur passieren, wenn dieser in gewisser Weise den Flug steuern kann, also aktiv - als Gleiter wäre er wohl schon auf dem Festland abgestürzt.

Das direkte Hinterland der Solnhofener Lagunen war - soweit wir das wissen - nicht von größeren Bäumen bewachsen. Dies lässt sich im Fossilnachweis zeigen, da es außer *Brachyphyllum nepos*, einer den Araukarien nahe stehenden Pflanze, wohl keinen größeren Bewuchs gab der fossil überliefert wurde. *Brachyphyllum* war buschartig und nicht sehr hochwüchsig. Im weiteren Hinterland war sicherlich Baumbewuchs zu finden, weshalb man annehmen könnte, *Archaeopteryx* sei von dort aus in die Lagunen gekommen. Wenn aber *Archaeopteryx* ein Baumkletterer gewesen wäre, müsste diese Lebensweise zweifelsohne zu Abnutzungerscheinungen an den Hornscheiden der Krallen geführt haben. Diese sind aber ohne jegliche erkennbare Abnutzung und zwar an Fuß und Handkrallen gleichermaßen [1]. Auch erscheint es seltsam, dass im Vergleich zu anderen Tierarten doch mittlerweile neun *Archaeopteryx*-Fossilien gefunden wurden, was darauf hindeutet, dass diese in der Nähe gelebt haben müssen - bei einem weiter entfernten Lebensraum wären weit weniger Funde zu erwarten.



Abb. 1: *Brachyphyllum nepos*



Abb. 2: Hornkralle bei *Archaeopteryx*

Allerdings lassen sich die Krallen der Füße durchaus mit denen heutiger baumlebender Vögel vergleichen, wohingegen z. B. *Compsognathus* Fußkrallen hatte, die auf einen Bodenbewohner hindeuten [2]. Dieser Vergleich zwischen den Krallen von *Archaeopteryx* und den Krallen moderner Vögel lässt aber außer acht, dass sich die Handkrallen vieler Theropoden ebenso mit den Fußkrallen moderner

Vögel vergleichen lassen, also diesbezüglich keine wirkliche Zuordnung gemacht werden kann.

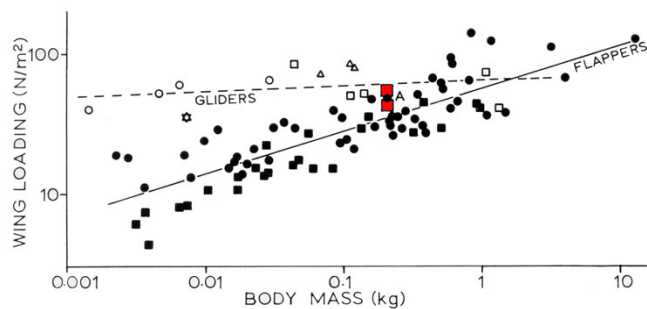


Abb. 3: Vergleich Gewicht / Flügelbelastung, *Archaeopteryx* ist rot markiert

Ein weiteres Indiz sind Untersuchungen des Flügels von *Archaeopteryx*. Wenn man das Startgewicht und die Flügelbelastung mit heutigen Vögeln vergleicht, ergibt sich das Bild, dass *Archaeopteryx* durchaus bei den aktiv den Schlagflug beherrschenden Vögeln eingeordnet werden kann [3].

Was bei diesen Untersuchungen bisher aber außer acht gelassen wurde ist die Tatsache, dass die Atmosphäre im Jura durchaus anders gewesen sein könnte als heute. Ein höherer Sauerstoffgehalt z. B. kann sich positiv auf die Leistung auswirken, die ein Organismus erbringt. Auch die Dichte der Atmosphäre hat Auswirkungen auf die Flugfähigkeit. Je dichter desto leichter kann ein Lebewesen fliegen. Je dünner desto mehr Energie, in Flügelschläge umgesetzt, wird benötigt; das Lebewesen muss also schneller mit den Flügeln schlagen.

Wie aber lässt sich der Sauerstoffgehalt im Jura bestimmen, da es ja keine Möglichkeit der Probenahme gibt? Eine Antwort können eventuell Insekten darauf geben. Die Atmung von vielen Insekten findet durch Tracheen statt. Durch Körperöffnungen, so genannte Stigmen, wird die Luft in die Tracheen geleitet, die den offenen Blutkreislauf mit Sauerstoff versorgen. Durch das „Pumpen“, das man bei Insekten oft sehen kann, wird diese Sauerstoffaufnahme gefördert. Trotzdem haben Insekten keine Aktivatmung. Dadurch sind diese Organismen in der Körpergröße begrenzt. Ein höherer Sauerstoffgehalt ermöglicht es ihnen einen größeren Körper zu entwickeln. Aus Solnhofen sind solch große Insekten, z. B. Heuschrecken, bekannt. Daraus lässt sich schließen, dass der Sauerstoffgehalt damals über dem heutigen Niveau lag, wenngleich man nicht ganz genau sagen kann um wie viel höher dieser gelegen haben mag. Berechnungen gehen aber von einem Sauerstoffgehalt von ca. 26% aus [4], gegenüber rund 21% heute. Das würde bedeuten, dass dies den Aktivflug von *Archaeopteryx* unterstützt hätte.

Zu guter letzt kommt natürlich noch die Abstammung ins Spiel. Wenn *Archaeopteryx* als Vorfahren theropode Saurier hatte, dann muss sich das Fliegen von unten nach oben entwickelt haben, da theropode Saurier Bodenbewohner waren. Die Besiedlung von Bäumen als Lebensraum muss sich demzufolge erst später entwickelt haben.

All diese Erkenntnisse sind Anzeichen dafür, dass *Archaeopteryx* ein vom Boden aus startender Urvogel war, der aktiven Schlagflug beherrschte. Zur Betrachtung der Evolution des Vogelfluges an sich kann der Urvogel kaum etwas beisteuern, da er schon zu weit entwickelt war als dass die Wissenschaft aus seinen Fossilien darüber etwas herauslesen kann.

## Systematik - Problematik

Um festzustellen, welche Tiere nun von welchen Vorfahren abstammen, muss man einen Stammbaum rekonstruieren. Dabei müssen aber – um eine einheitliche Basis zu schaffen – bestimmte Grundregeln beachtet werden. Wenn man sich über bestimmte Tier- oder Pflanzengruppen unterhalten möchte muss geklärt werden, welche Begrifflichkeiten man benutzen möchte, bevor die eigentliche Unterhaltung stattfindet. So ist es z. B. nicht möglich sich ohne Missverständnisse über Tiere auszutauschen, wenn der Gesprächspartner über Fische, man selber aber über Wale reden möchte, falls man nicht zwischen Säugern und Fischen unterscheidet, sondern nur davon ausgeht, dass beide im Wasser leben.

Aus diesem Grunde wurde schon 1735 von CARL LINNAEUS (1707-1778), auch unter dem Namen CARL VON LINNÉ bekannt, ein hierarchisches System (*Systema Naturae*) zur Klassifizierung von Lebewesen entwickelt. Für Linnaeus war die Welt mit ihren Pflanzen und Tieren aber eine Konstante, das bedeutet er wusste nichts von Evolution oder auch der Tatsache, dass Tiere aussterben konnten, was aber damals durchaus gängig war.

Letztendlich klassifizierte er Pflanzen und Tiere in einem hierarchischen System, das die Möglichkeit bot diese in bestimmte Unterteilungen zuzuordnen.

Nach welchen Kriterien aber soll man diese Unterscheidungen machen? Ob ein Tier Fell besitzt ist nur ein unzureichendes Merkmal für Säugetiere, da ja z. B. Wale kein Fell besitzen. Auch die Tatsache, dass Wale auf den ersten Blick keine 4 Füße haben macht eine Zuordnung diesbezüglich schwer. Daher wurden eine Vielzahl von Merkmalen verschiedener Tiere herangezogen und diese dadurch klassifiziert. Organismen wurden also zuerst nur nach dem äußeren Erscheinungsbild oder auch nach der Lebensweise klassifiziert.

Die Unterteilung erfolgt streng hierarchisch, wodurch aber einige Probleme in Bezug auf evolutionäre Entwicklungen entstehen. Heute wird in diesem System versucht die evolutionäre Entwicklung zum Teil mit abzubilden, dennoch ergeben sich bei bestimmten Tiergruppen daraus Probleme.

Dies wird deutlich wenn man sich die Taxonomie eines Vogels am Beispiel der Nebelkrähe (*Corvus corone cornix*), ansieht.



Abb. 1: Nebel- und Saatkrähe

Reich: Tiere (Animalia)

Stamm: Rückenmarktiere (Chordata)

Unterstamm: Wirbeltiere (Vertebrata)

Klasse : Vögel (Aves)

Ordnung: Sperlingsvögel (Passeriformes)

Unterordnung: Singvögel (Passeres)

Familie: Rabenvögel (Corvidae)

Gattung: Rabe (*Corvus*)

Art: Krähe (*Corvus corone*)

Unterart: Nebelkrähe (*C. corone cornix*)

Es wird aufgrund dieser Auflistung deutlich, dass zwar die Vögel an sich als Wirbeltiere eine Verwandtschaft mit allen anderen Wirbeltieren haben, es fällt aber durchaus schwer diese evolutionär zu deuten, da in diesem System z. B. die Knochenfische als kleinstes gemeinsames Merkmal ebenfalls als Wirbeltiere aufgeführt werden. Daraus kann man zwar schließen, dass Vögel und Knochenfische als Wirbeltiere einen gemeinsamen Vorfahren haben müssen, eine weitere Ableitung auf die Entwicklung der Vögel ist aber in keiner Weise möglich.

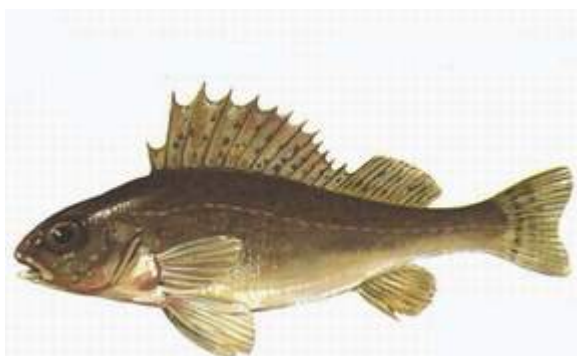


Abb. 2: Kaulbarsch

Reich: Tiere (Animalia)

Stamm: Rückenmarktiere (Chordata)

Unterstamm: Wirbeltiere (Vertebrata)

Klasse: Knochenfische (Osteichthyes)

Ordnung: Barschartige (Perciformes)

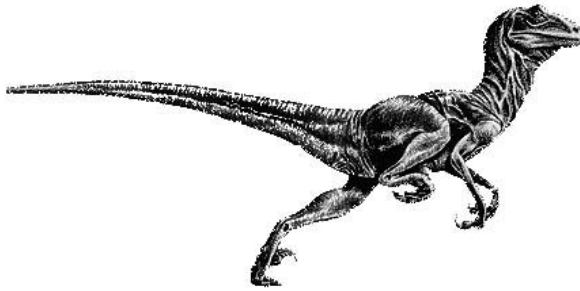
Familie: Echte Barsche (Percidae)

Gattung: Barsch (*Gymnocephalus*)

Art: Kaulbarsch (*G. cernuus*)



Diese Problematik wird umso deutlicher wenn man sich die Taxonomie von *Deinonychus* ansieht, da dieser ebenfalls - in diesem System - als kleinstes gemeinsames Merkmal den Wirbeltieren zugeordnet werden muss.



Reich: Tiere (Animalia)

Stamm: Rückenmarktiere (Chordata)

Unterstamm: Wirbeltiere (Vertebrata)

Klasse: Dinosaurier (Dinosauria)

Ordnung: Echtenbeckensaurier

Unterordnung: Theropoden

Über Familie: Maniraptoriformes

Unterfamilie: Velociraptoren

Gattung: *Deinonychus*

Art: *D. antirrhopus*

Abb. 3: Deinonychus

Innerhalb dieses Systems ist es daher nur sehr begrenzt möglich evolutionäre Tendenzen und Abhängigkeiten abzubilden, da der zeitliche Rahmen fehlt. Fische, als Wirbeltiere, gab es ja schon vor Dinosauriern oder Vögeln.

1950 wurde von WILLI HENNING eine Methode entwickelt, die es ermöglicht eben diese evolutionären Tendenzen, also einen Stammbaum, zu rekonstruieren. Diese Methode nennt sich Kladistik und umfasst wesentlich mehr Merkmale die Tieren, oder Tiergruppen, zugeordnet werden können, als auch den zeitlichen Rahmen der Evolution.

Wenn man die Erkenntnisse über den Fossilienachweis in Bezug auf Dinosaurier und Vögel nun in solch einer Kladistik darstellt, ergibt sich das Bild, dass die Vögel von den Dinosauriern abstammen - allerdings ergibt sich auch hier ein Problem. Lässt man die Fingerzählung außer acht, ist dieses Bild eindeutig - die Vögel sind die Nachkommen von theropoden Dinosauriern, wodurch man behaupten kann, dass die Dinosaurier nicht wie angenommen an der K-T Grenze, bzw. kurz danach, ausgestorben sind. Das würde bedeuten, dass heute noch ein Seitenstamm der Dinosaurier lebt – die Vögel [1].

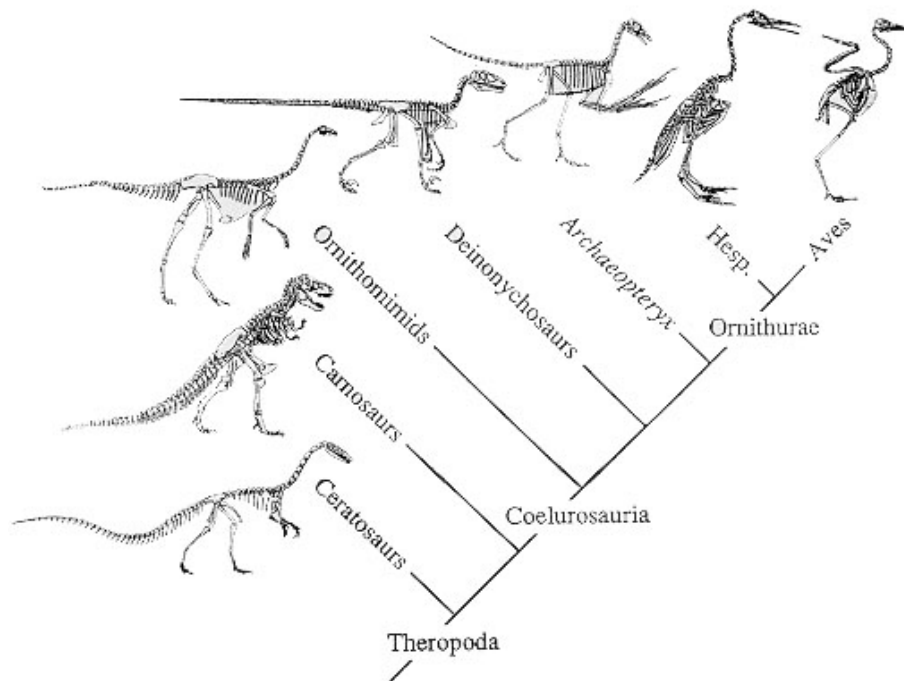


Abb. 4: Kladistik Dinosaurier - Vögel

Wenn man allerdings die Fingerzählung mit in die Analyse aufnimmt, kommt man zu dem Ergebnis, dass die Vögel sich weitaus früher von den Vorfahren der Dinosaurier, den Archosauriern, abgespalten haben müssen. Zeitlich gesehen müsste dies in der späten Trias der Fall gewesen sein. Dieser Theorie folgen hauptsächlich Ornithologen, wohingegen Paläontologen die Dino-Theorie als „gemachtes Ding“ ansehen. Problematisch an der Archosaurier-Theorie ist allerdings, dass sich bis heute keinerlei Fossil finden ließ das diese Theorie untermauert, wohingegen der Nachweis in Bezug auf die Theropodentheorie im Vergleich sehr gut ist, da sich die anatomischen Gleichheiten zwischen *Archaeopteryx* und Theropoden nicht wegdiskutieren lassen. Und nebenbei bemerkt wäre es mehr als erstaunlich wenn sich, von den Archosauriern ausgehend, Theropoden und Vogelvorfahren entwickelt haben sollten, die im Skelettbau derartig analog sind, obwohl gerade dies behauptet wird.

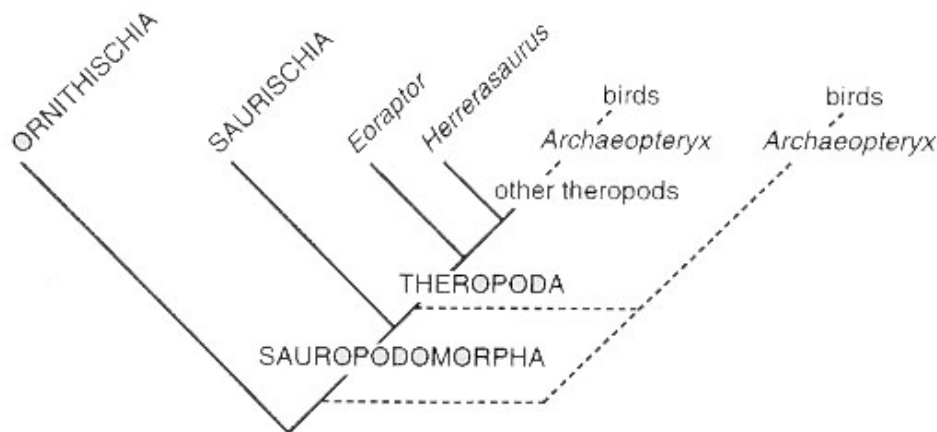


Abb. 5: Kladistik unter Einbezug der Fingerzählung (gestrichelte Linien)



## Frühere Vogelfossilien

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert stehen wir in Bezug auf die Vogelevolution zwar nicht mit leeren Händen, oder besser gesagt ohne Fossilien da, aber einige der wichtigsten Fragen – Entwicklung der Federn und des Fluges – können momentan nur theoretisch besprochen werden. Aus diesem Grunde ist die Suche nach einem eindeutigen Vogelfossil, das älter als *Archaeopteryx* ist, äußerst wichtig und spannend.

Aus diesem Grunde schlug 1987 *Protoavis texensis* ein wie eine Bombe. Sollte dieses Tier einen Vogel darstellen, würde die Entstehung der Vögel mit einem Schlag um 75 Millionen Jahre in die Trias zurückdatiert werden müssen. SANKAR CHATTERJEE, der den Fund beschrieb, ist davon überzeugt, dass es sich um einen Vogel handeln muss. Die Rekonstruktionen basieren auf zwei relativ unvollständigen Fossilien aus den Dockum Schichten in Texas, USA. Diese Schichten werden in die späte Trias datiert. *Protoavis* war ca. 60 cm groß, hatte ein relativ großes Gehirn und bewegte sich bipedal (auf zwei Füßen) fort. Allerdings wurden an den Fossilien keinerlei Nachweise von Federn gefunden[1].

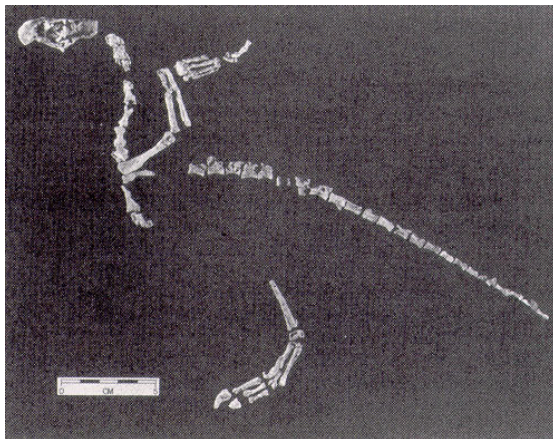


Abb. 1: Skelettreste von *Protoavis*

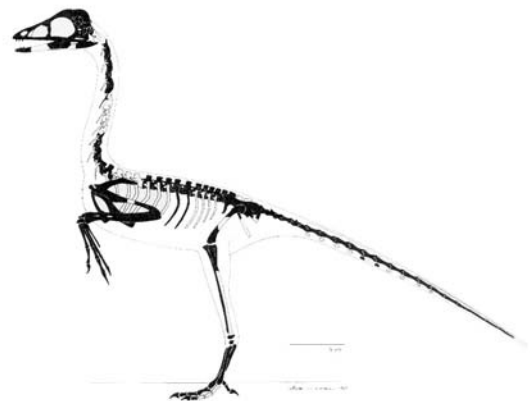


Abb. 2: Rekonstruktion von *Protoavis*

Gerade dieses Fossil hat einen Sturm von Gegenargumenten ausgelöst. Da beide Skelette nur fragmentarisch erhalten sind und diese im Sediment einer Flussbiegung abgelagert wurden, führte dies zu der Annahme, dass diese Skelette eventuell gar nicht ein und derselben Tierart zuzuordnen sind. Aufgrund der fragmentarischen Erhaltung wurde auch bezweifelt, dass man diese Fossilien überhaupt eindeutig mit Vögeln verlinken kann, noch dazu, da kein Nachweis über Federn erhalten geblieben war.

Daher ist *Protoavis* auch heute noch umstritten, wenn auch sicher ist, dass dieser als „vogelähnlicher Theropode“ eingeordnet werden muss[2]. Allerdings wäre das der erste zeitlich in den Rahmen passende Theropode, der als Vogelvorläufer in Frage kommt, liegen doch die Anfänge der Theropoden definitiv in der Trias. Daher kam z. B. OSTROM zu dem Schluss, dass solange keine besseren Belegstücke zu *Protoavis* vorliegen man nicht mit Sicherheit sagen kann, ob dieser als Vogelvorläufer anzusprechen sei[3]. CHATTERJEE, so scheint es jedenfalls, hat aufgrund dieses Streites, der zum Teil auch persönlich ausgetragen wurde (wie so oft in der

Diskussion um die Vogelevolution), mittlerweile „die Lust verloren“ sich über *Protoavis* zu äußern [4].

1995 gab es erneut große Aufregung. Es wurde ein Vogelfossil aus China beschrieben mit dem Namen *Confuciusornis sanctus* (Der heilige Vogel des Confuzius). HOU LIANHEI, ein chinesischer Paläontologe, beschrieb die damals 3 bekannten Fossilien. Der Fundort liegt im Norden von China in der Provinz Liaoning. Der Fundort gehört zur Yixian Formation (Jehol Gruppe). Das eigentlich Interessante aber war, dass der Fundort in das Jura datiert wurde, also genauso alt wie die Solnhofener Schichten aus denen ja *Archaeopteryx* stammt. Sollte es also zur gleichen Zeit schon weiter entwickelte Vögel als *Archaeopteryx* gegeben haben wäre dies eine Sensation. Die weitere fossil überlieferte Fauna und Flora zeigt aber z. T. Blütenpflanzen, welche definitiv in die Kreide zu datieren sind, ebenso müssen Funde von Säugetieren in die Kreide datiert werden. Allerdings lieferten ältere radiometrische Untersuchungen Werte von ca. 142 bis 137 Millionen Jahren, während neuere Messungen von ca. 121 Mio. Jahren ausgehen [5]. Ausgehend von diesen Befunden kann man die Jehol Lebensgemeinschaft wohl in die Kreide datieren – womit die dort gefundenen Vogelfossilien jünger als *Archaeopteryx* sind.



Abb. 3: *Confuciusornis sanctus*

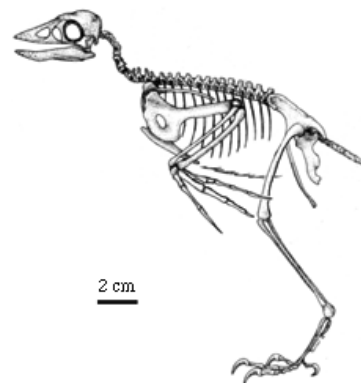


Abb. 4: Skelett - Rekonstruktion

Im Moment scheint es also so, dass ein direkter, definitiv den Vögeln zuzuordnender Vorfahre leider nicht in Sicht ist. *Protoavis* ist zu fragmentarisch und es konnten keine Federn nachgewiesen werden, *Confuciusornis* ist nicht, wie ursprünglich angenommen, in das Jura, sondern in die Kreide zu datieren. Es bleibt also nach wie vor spannend.

## Spätere Vogelfossilien

Im Gegensatz zu der Suche nach älteren Vogelfossilien ist der Nachweis für spätere, kreidezeitliche Vögel recht gut. Der Nachweis für tertiäre und quartäre Vögel ist nochmals um einiges besser, was aber auch darauf zurückzuführen ist, dass dies die jüngeren Perioden sind.

Die mesozoischen Vögel werden in die Sauriurae (Urvögel), Enantiornithes (Gegenvögel) und Ornithurae (Neuvögel) eingeteilt. All diese Formen finden sich bereits in der schon angesprochenen Jehol Lebensgemeinschaft.

Weitere Vogelfossilien wie *Hesperornis*, von MARSH 1872 beschrieben, stammen aus den USA. Dieser so genannte Zahntaucher war ein guter Schwimmer und Taucher, allerdings waren die Flügel stark reduziert, diese Tiere konnten also nicht mehr fliegen. *Hesperornis* wird der Ordnung der Hesperornithiformes zugeschrieben, die vor dem Ende der Kreide ausstarben. Die ebenfalls aus der Kreide stammenden *Ichthyornis* werden gebräuchlich als "Kreidemöwen" bezeichnet, was auf die Ähnlichkeit und den gleichen Lebensraum mit heutigen Möwen hindeutet. Allerdings hatten diese Vögel ebenso wie *Hesperornis* einen bezahnten Kiefer. *Patagopteryx deferrariisi*, ebenfalls kreidezeitlich, war ein Laufvogel[1].

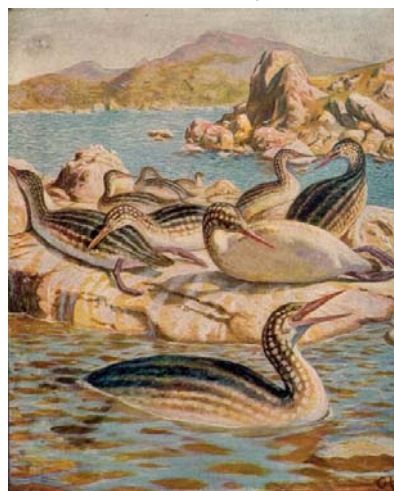


Abb. 1 *Hesperornis* Rekonstruktion

Daher wird deutlich, dass sich die Entwicklung der Vögel schon sehr früh aufgespalten haben muss. Schon zur Kreidezeit ist eine starke Spezialisierung erkennbar. Wieder vom Luftraum auf den Boden zurückgekehrt, oder sich anderen Lebensräumen wie dem Wasser angepasst, haben die Vögel schon damals jeden Lebensraum erobern können. Modernere Vögel, die den heutigen vergleichbarer sind, treten in der oberen Kreide auf.

An der Kreide Tertiär Grenze (K-T Grenze) starben eine Vielzahl von Vogelformen



Abb. 2: Vogelfund in der Grube Messel

aus, allerdings haben die „Überlebenden“ sich sehr schnell, ähnlich den Säugetieren, an die neuen Umgebungen angepasst, was sich in einer Artenexplosion zeigt. Aus dem Tertiär sind neben rallenartigen Vögeln auch Spechte, Papageien und andere bekannt. Besonders hervorzuheben ist hier die Grube Messel, in der viele Vogelfossilien im Alter von ca. 49 Millionen Jahren gefunden werden.

Heutzutage gibt es schätzungsweise mehr als 9000 verschiedene Vogelarten.

## Archaeopteryx – gefälscht?

Fälschungen von Fossilien sind in der Vergangenheit häufiger vorgekommen und haben selbst Wissenschaftler in die Irre geführt. Die bekanntesten Beispiele in der Vergangenheit sind zum Beispiel die „Würzburger Lügensteine“ oder aber auch der „Piltdown Mensch“.

Die „Würzburger Lügensteine“ wurden dem Würzburger Doktor und Gelehrten JOHANNES BARTHOLOMÄUS ADAM BERINGER zum Verhängnis. 1725 wurden diesem viele Versteinerungen zugetragen und Beringer veröffentlichte diese schon 1726 in der Publikation „Lithographiae Wirceburgensis“. Als er erkannte, dass er geschickt gemachten Fälschungen aufsaß, zog er die Veröffentlichung wieder zurück. Bis heute sind nicht alle Hintergründe aufgedeckt, die zu diesem Vorfall geführt hatten, es wird allerdings angenommen, dass die „Lügensteine“ von Studenten und anderen Gelehrten angefertigt worden waren um BERINGER bewusst zu schädigen.

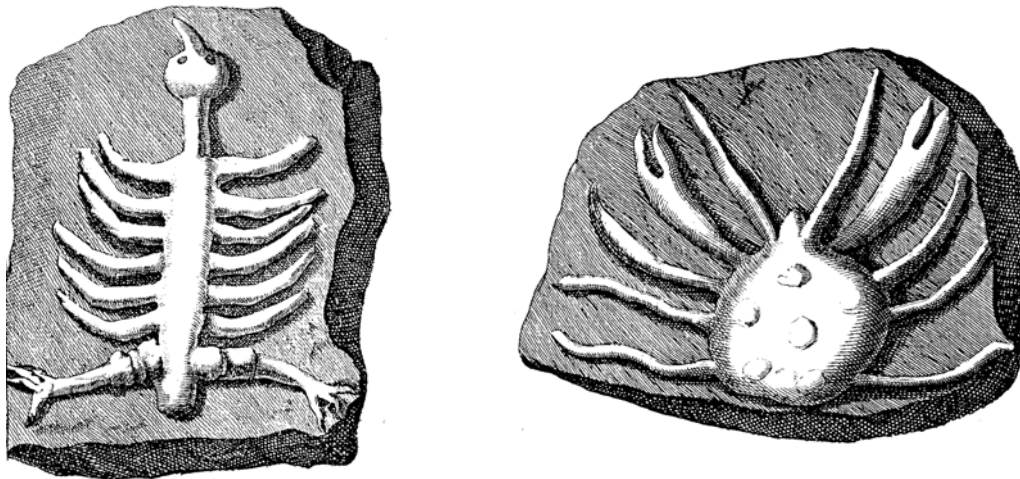


Abb. 1: Würzburger Lügensteine

Auch die Geschichte um den „Piltdown Mensch“ war wohl ein Betrug, der darauf hinauszielte einen Kollegen zu blamieren. Teile eines vermeintlichen menschlichen Unterkiefers wurden 1908 in der Nähe der südenglischen Stadt Piltdown gefunden. DAWSON, der Entdecker, und der Paläontologe ARTHUR SMITH WOODWART stellten den Fund 1912 der Wissenschaft vor. Überzeugt von der Echtheit argumentierten beide, dass dieser Urmensch eine Zwischenform von Affe und Mensch darstellen muss. Der Kiefer war affenähnlich, das Schädeldach menschenähnlich. So wurde der „Piltdown Mensch“ in die Ahnenreihe des Menschen aufgenommen. Erst 1953 konnte der Schwindel aufgedeckt werden, als neue Datierungsmethoden entwickelt wurden. Mit der Radiokarbonmethode wurden die angeblichen Fossilien als nur wenige hundert Jahre alt datiert. Irgendjemand hatte Teile eines Menschenschädels und Teile eines Orang Utan-Schädels kombiniert und künstlich altern lassen. Lange Zeit wurde spekuliert, wer denn nun der Urheber dieser Fälschung war, man konnte dies aber nie sicher sagen. 1997 stellte man fest, dass wahrscheinlich der damalige Kurator des Londoner Naturhistorischen Museums der Urheber war – wohl um seine Kollegen zu blamieren.



Erst vor kurzem wurde ein neuer Betrug aufgedeckt. Diesmal handelte es sich um ein vermeintliches Bindeglied zwischen Vögeln und Dinosauriern aus der Jehol Lebensgemeinschaft in China: der *Archaeoraptor*. Dieses Fossil, mittlerweile als „Pitdown-Vogel“ bezeichnet, hat großes Aufsehen erregt, da die National Geographic Society sich mit diesem wohl blamabelsten Kapitel ihrer Geschichte herumschlagen muss.

Das Fossil wurde in China, wohl von einem Bauern, aus mindestens zwei verschiedenen Fossilien zusammengesetzt und an einen Händler verkauft. Dieser schmuggelte es aus China heraus in die USA, wo man auf dieses aufmerksam wurde. Die National Geographic Society hat 1998 daraufhin das Fossil untersuchen lassen, und dieses wurde in einem groß aufgemachten Artikel der Zeitschrift „National Geographic Magazine“ veröffentlicht. Allerdings wurden schon vor der Veröffentlichung Stimmen laut, die die Authentizität dieses Exponates bezweifelten, allerdings versäumten es die Redakteure den Fund erneut untersuchen zu lassen. Dieses Vorgehen – eine erneute Untersuchung vor einer Veröffentlichung – wäre der Normalfall gewesen. Dies wurde wohl nicht gemacht um sich die „Sensation“ in der Publikation nicht entgehen zu lassen. Die erneute Untersuchung ergab dann, dass das Fossil zusammengesetzt war. Eigentlich hätte man das auf den ersten Blick erkennen können, da die Hinterextremitäten des *Archaeoraptors* die Positiv- und Negativplatte eines einzigen Beines waren. Schon 1999 musste dann die National Geographic Society eingestehen dass dieses als Missing Link gefeierte Fossil aus mehreren nicht zusammengehörigen Fossilien zusammengesetzt wurde. Diese Blamage hätte aber verhindert werden können, wenn das Fossil von mehreren unabhängigen Institutionen vor einer Veröffentlichung untersucht worden wäre. Geltungssucht, Geld und Verblendung führten in diesem Fall wohl zu diesem bedauerlichen Resultat.



Abb. 2: Titel des „National Geographic Magazine“

Wen wundert es daher, dass auch *Archaeopteryx* immer wieder Gegenstand einer Fälschungsbehauptung wurde. 1985 wurde aufgrund einer Untersuchung des Londoner Exemplars durch SIR FRED HOYLE, N. WICKRAMASINGHE und andere die Behauptung aufgestellt, dass die Federabdrücke nicht echt seien. Das Skelett eines *Compsognathus* sollte dementsprechend umgearbeitet worden sein. Die Federabdrücke sollten von einem modernen Vogel stammen, welche in einen aus Solnhofener Stein hergestellten Zement um den *Compsognathus* gepresst wurden. Diesen Aussagen konnte man aber gegenüberstellen, dass Haarrisse, welche sich mit Calcit gefüllt hatten, spiegelbildlich auf der Positiv und Negativplatte durch die Federimpressionen hindurchgehen. Dies beweist, dass die Federabdrücke schon vorhanden gewesen sein müssen als sich die Risse gebildet haben und die Verfüllung mit Calcit zeigt, dass dies schon lange vor dem Fund der Fall gewesen sein muss [1]. Auch unterscheidet sich das Skelett eines *Compsognathus* von dem eines *Archaeopteryx* durch die Armlänge. Während bei *Archaeopteryx* die Arme ungefähr genauso lang sind wie die Beine, sind diese bei *Compsognathus* erheblich kürzer. Selbst wenn die Federn nicht echt wären – das Skelett kann kein *Compsognathus* sein [2]. Auch muss man sich die Frage stellen, wem denn eine Fälschung genutzt hätte. OWEN sicherlich nicht, da dieser ohne den Fund seine kreationistische Ansichtsweise wesentlich besser hätte publizieren können. HUXLEY hat den Fund erst nach OWEN



begutachtet, kann also auch nicht der Urheber einer eventuellen Fälschung sein. Für die ersten beiden Funde würden also nur die Verkäufer, die HÄBERLEINS, in Frage kommen. Sicherlich könnte man behaupten, dass diese ein Interesse daran gehabt haben die Stücke so teuer wie möglich zu veräußern und dieses zu einer Fälschung geführt hat. Man muss sich aber die Frage stellen ob diese in der Lage gewesen wären eine Fälschung derartig perfekt zu bewerkstelligen.

Da sich aber auch auf den anderen *Archaeopteryx*-Exemplaren Federn zeigen (teilweise nur sehr schwach im Streiflicht wie beim Eichstätter und Solnhofener Exemplar) und zumindest beim Münchener Exemplar der Fund sofort in die Hände der Wissenschaft gekommen ist, kann man sich heute sicher sein, dass die *Archaeopteryx*-Fossilien echt sind.

## Kreationistisches

Eigentlich ist es äußerst schade und auch höchst bedenklich, dass man auf Ansichten von Kreationisten überhaupt eingehen muss. Aber letztendlich geht es ja um nichts anderes als die Tatsache, dass Glaube im religiösen Sinne nicht die Wissenschaft ersetzen kann in der es um Theorien geht, die aus handfesten Befunden hergeleitet werden können.

Es gibt eine Unzahl von Artikeln, die sich mit *Archaeopteryx* beschäftigen und mehr oder weniger kreationistisch aufgefasst werden müssen. Neben diesen findet sich auch eine gewisse Anzahl von Artikeln - meist von Buchautoren - die „Sensationsliteratur“ ohne wissenschaftlichen Hintergrund betreiben. Die meisten dieser Artikel finden sich im Internet auf den entsprechenden Seiten, werden aber auch höchst erfolgreich im Buchhandel vertrieben.

Hauptsächlich geht es in diesen Artikeln darum aufzuzeigen, dass sich *Archaeopteryx*, und damit die modernen Vögel, nicht von den Dinosauriern herleiten lassen. Natürlich schwankt die Qualität dieser Artikel erheblich von völlig haltlosen Behauptungen bis hin zu durchaus ernstzunehmenden Fragestellungen. Meist wird versucht einen „gesicherten“ Eindruck zu hinterlassen, was häufig durch Angabe von Literatur oder Nennung von Wissenschaftlern erfolgt. Es werden meist die Punkte aufgeführt, die gegen eine Dinosaurier -Vogel- Entwicklung sprechen.

Dabei ist es für den unbedarften Leser nicht ersichtlich, dass es sich bei den zitierten Wissenschaftlern meist um die Vertreter der Theorie handelt, die überzeugt davon sind, dass sich die Vögel nicht von den Dinosauriern herleiten lassen. Dies wäre nicht weiter schlimm, wenn die Schlussfolgerung innerhalb der Artikel nicht die wäre, dass damit bewiesen sei, dass sich Vögel nicht aus Dinosauriern entwickelten, und damit die Evolution an sich widerlegt sei.

Problematisch daran ist nämlich, dass all diese Wissenschaftler durchaus überzeugt sind, dass es eine Evolution gibt - nur halt in Bezug auf die Vögel nicht von den Dinosauriern ausgehend, sondern z.B. von Archosauriern. Der wohl prominenteste Vertreter dieser Theorie, ALAN FEDUCCIA, schrieb, auf diesen bedauerlichen Umstand angesprochen:

"Yes, of course, creationists twist whatever anyone says to suit their needs. Obviously, *Archaeopteryx* is a perfect intermediate between reptiles and birds, and the only question involves the details. Are birds derived very late in time, directly from theropod dinosaurs; or, do they share a common ancestor with theropod dinosaurs much earlier, a basal archosaur?" [1].

Wie sich - alleine schon aus diesem Umstand - zeigen lässt, ist es mit der Wissenschaftlichkeit und der Glaubwürdigkeit vieler solcher Artikel leider nicht allzu weit her. Erschwerend kommt hinzu, dass sogar kreationistisch arbeitende Biologen leider in ihren Veröffentlichungen zum Teil falsche oder veraltete Aussagen machen. So wird zum Beispiel behauptet, dass *Archaeopteryx* ein vierstrahliges Becken hatte, obwohl sich dieser Umstand mit einem Blick auf das Fossil überprüfen und damit widerlegen lässt [2].

Prinzipiell lässt sich leider sagen, dass die kreationistischen oder sensationsliterarischen Veröffentlichungen in dieser Richtung meist falsch sind, auf veralteter Literatur basieren oder selektiv für ihre Aussage berichten. Die Tatsache, dass es nach wie vor in einigen Detailfragen bezüglich der Vogelevolution Unsicherheiten gibt, wird in die Richtung gedreht, welche die Autoren gerne sehen würden - dass es keine Evolution gibt. Dass diese aber durch die Gesamtheit des Fossilnachweises erwiesen ist, wird dabei nur zu oft übersehen. Sicherlich kann man über Details streiten, aber letztendlich ist am Fossilnachweis nicht zu rütteln.

Das letztendliche Problem ist aber, dass wir Menschen uns zu gerne „verführen“ lassen. Wem ist es noch nicht passiert dass er sich durch eine fantastische Erzählung eines anderen hat blenden lassen? Aber wenn wir uns die Mühe machen hinter die Kulissen zu sehen, entpuppt sich eine Fantasie leider meist als das was es ist – Fantasie.

## Epilog

„Das Leben findet einen Weg“ oder auch der Satz „Irgendetwas hat überlebt“ haben wir schon öfters in diversen Hollywood-Produktionen gehört – aber das scheint auch in unserem Fall zutreffend...

Leben nun Dinosaurier in unserer Nachbarschaft? Trotz aller Bedenken und Einwände, die von verschiedenen Seiten gemacht wurden und natürlich werden, kann man, ausgehend vom jetzigen Stand der Wissenschaft, mit relativer Sicherheit behaupten dass heutige Vögel die Nachfahren von kleinen, theropoden Dinosauriern sind. Der Fossiliennachweis, die Ähnlichkeit zwischen dem ersten Vogel, *Archaeopteryx*, und den Theropoden lassen kaum einen anderen Schluss zu. Und sogar für das Problem der Fingerzählung gibt es Theorien, die zum Teil sogar nachgewiesen werden können.

Reizvoll ist diese Vorstellung allemal. Aber selbst wenn sich durch neue Funde herausstellen sollte, dass Vögel keine direkten Nachfahren der Saurier sind, sondern eine Nebenlinie, würde dies die Vorstellung nur minimal schmälern – ob nun Dinosaurier oder die Vorfahren dieser in der Linie der Vögel überlebt haben.

Nun ist es so, dass beide Theorien verteidigt werden, nicht selten aus mehr oder weniger persönlichen Gründen, welche die wissenschaftlichen Argumente in den Hintergrund treten lassen. Gerade diese Reibereien führen allerdings eher zu Missgunst als die Wissenschaft an sich weiter nach vorne zu bringen. Das zeigt sich gerade in dem Disput verschiedener Paläontologen, von denen die einen die „Vögel sind Dinosaurier“-Theorie befürworten während die anderen davon überzeugt sind, dass Vögel keine Dinosaurier sind. Letztendlich können wir aber – egal welche Theorie nun stimmt – mit gutem Gewissen die beiden obigen Zitate übernehmen. Die Vögel haben einen Weg gefunden zu überleben – gleichgültig woher sie abstammen.

Wie dem auch sei, die Erforschung der Vogelevolution und des Ursprungs der Vögel bleibt nach wie vor spannend und interessant. Wer weiß, vielleicht wird gerade irgendwo auf der Welt ein Fossil gefunden...



## Danksagung

Ich möchte mich bedanken bei Silvio Keller, der einige Zeichnungen für dieses Werk zur Verfügung stellte. Silvio Brandt, Michael Kipping, Roman Berndt, Roger Frattigiani und seiner Frau Kirsten sowie Stefan Feller möchte ich an dieser Stelle recht herzlich dafür danken dass diese das Manuskript gelesen und kritisch beurteilt haben. Auch den Wissenschaftlern die ich mit meinen Fragen belangen durfte, schulde ich Dank. Dazu zählen unter anderem Peter Wellnhofer, Markus Moser und im Besonderen Alan Feduccia. Andrew Skolnick danke ich für die Möglichkeit die sehr guten Bilder von *T.rex* „Sue“ nutzen zu dürfen.

Einen besonderen Dank natürlich an meine Frau Ines sowie an meine Tochter Nadine, die mich aufgrund meines Hobbys und all den damit zusammenhängenden Tätigkeiten oft entbehren mussten. Trotz alledem haben sie mich stets unterstützt.

# Literaturverzeichnis

## Der Fundort

- [1] Prof. Dr. Oskar Kuhn, „Die Tierwelt des Solnhofener Schiefer“, 1977
- [2] K. Werner Barthel, „Fossilien aus Solnhofen“, 1978
- [3] Helmut Tischlinger aus Solnhofen 2 von K.A. Frickhinger
- [4] Günter Schweigert & Roger Frattigiani, „Eine Seite im Buch der Erdgeschichte – vom Fossil selbst beschrieben“, Zeitschrift Fossilien, Juli/ August 2004

## Die Funde

- [1] Hermann von Meyer, "Archaeopteryx lithographica", Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie (1861).
- [2] Andreas Wagner, "On a new reptile, supposedly furnished with feathers", Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, vol. 2, Heft II (1861).
- [3] P. Wellnhofer, "A new specimen of Archaeopteryx", Sonderdruck aus Science 240, 1988
- [4] Elżanowski, A. 2001. A new genus and species for the largest specimen of Archaeopteryx. — Acta Palaeontologica Polonica 46, 4, 519–532.
- [5] P. Wellnhofer, "Das siebte Exemplar von Archaeopteryx aus den Solnhofener Schichten", Archaeopteryx 11, Eichstätt 1993
- [6] Information des Bürgermeister Müller Museums in Solnhofen

## Die Forscher und der Wandel der Zeit

- [1] Marsh, O. C., Notice of a new and remarkable fossil bird. American Journal of Science, series 3, 4(22):344.
- [2] Marsh, O. C., Notice of a new reptile from the Cretaceous. Amer. Journal of Science, Series 3. 4(23):406.
- [3] Marsh, O. C., 1883. Birds with Teeth. 3rd Annual Report of the Secretary of the Interior, 3: 43-88. Government Printing Office, Washington, D.C., page 73
- [4] Heilmann, Gerhard. The Origin of Birds. New York, D. Appleton & Company, 1927
- [5] Dingus, Lowell and Timothy Rowe, The Mistaken Extinction - Dinosaur Evolution and the Origin of Birds, 1998

[6] Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition ,Yale Univ. Press, 1999

### **Vogel oder Reptil – oder beides?**

[1] Urvogel Archaeopteryx, Freunde der Bay. Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie, 1995

[2] Persönliche Mitteilung (Mail) von Hr. Moser, Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, 2001

[3] Alan Feduccia und Julie Nowicki, The hand of birds revealed by early ostrich embryos, Naturwissenschaften, 2002

[4] Frietson Galis, Martin Kundrát and Barry Sinervo, An old controversy solved: bird embryos have five fingers, TRENDS in Ecology and Evolution, Vol. 18 No. 1 January 2003

[5] The beginnings of Birds, Proceedings of the International Archaeopteryx Conference Eichstätt (Edited by Max K. Hecht, John H Ostrom, Günter Viohl, Peter Wellnhofer), 1984

[6] A. Elzanowski and P. Wellnhofer, Cranial morphology of Archaeopteryx: evidence from the seventh skeleton, Sonderdruck aus Journ. Vertebr. Palaeont. 16 (1), 1996

[7] „Spektrum der Wissenschaft", Digest 5, Sondernummer 1, 1997

[8] P. Wellnhofer , “Das siebte Exemplar von Archaeopteryx aus den Solnhofener Schichten“, Archaeopteryx 11, Eichstätt 1993

[9] Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

[10] Persönliche Mitteilung (Mail) von Hr. Dr. Peter Wellnhofer, Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, 2001

### **Rekonstruktion**

[1] Burkhard Stephan, Urvögel, Die neue Brehm Bücherei, 1979

[2] Gerhard Heilmann, The Origin of Birds, Appleton NY 1927

### **Federevolution – woher und warum**

[1] Nature, 408: 428

[2] Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

[3] Lowell Dingus and Timothy Rowe, The Mistaken Extinction - Dinosaur Evolution and the Origin of Birds, 1998

[4] Alan Feduccia, On why the Dinosaur lacked Feathers, The beginning of Birds, 1984

[5] Philip J. Regal, Common Sense and Reconstructions of the Biology of Fossils: A. and Feathers, The beginning of Birds, 1984

### **Evolution des Vogelfluges**

[1]Xin Xu et al, "Nature" (Bd. 421, S. 335)

[2] Per Christiansen, Niels Bonde, New Scientist (Ausgabe vom 22. Mai, S. 8).

### **Geflattert oder Geflogen**

[1] Chiappe, L. M., Climbing Archaeopteryx?, Archaeopteryx, 1994

[2] Yalden, D. W., Climbing Archaeopteryx - a answer to Chiappe, Archaeopteryx, 1994

[3] Pat Shipman, Taking Wing, Archaeopteryx and the Evolution of Bird Flight, 1998, Simon & Schuster, New York

[4] Robert Berner, Science, Vol. 238, S. 890

### **Systematik –Problematik**

[1] Lowell Dingus and Timothy Rowe, The Mistaken Extinction - Dinosaur Evolution and the Origin of Birds, 1998

### **Frühere Vogelfossilien**

[1] Chatterjee, S., The Triassic bird Protoavis (Protoavis, der Vogel aus der Trias), Archaeopteryx 1995

[2] Chatterjee, S., The avian status of Protoavis, Archaeopteryx 1998

[3] Ostrom, J. H., The Questionable Validity of Protoavis (Die Fragwürdigkeit von Protoavis), Archaeopteryx 1996

[4] Paul Chambers, Die Archaeopteryx Saga, Rogner & Bernhard, 2002

[5] Wellnhofer, P., »Urvögel« und »befiederte« Dinosaurier aus China, Archaeopteryx 1998

### **Spätere Vogelfossilien**



[1] Dieter S. Peters, Morphologie & Evolution. Symposien zum 175jährigen Jubiläum der SENCKENBERGISCHEM NATURFORSCHENDEN GESELLSCHAFT 1994, Senckenberg-Buch 70

### **Archaeopteryx – gefälscht?**

[1] Paul Chambers, Die Archaeopteryx Saga, Rogner & Bernhard, 2002

[2] Dingus, Lowell and Timothy Rowe, The Mistaken Extinction - Dinosaur Evolution and the Origin of Birds, 1998

### **Kreationistisches**

[1] Persönliche Mitteilung (Mail) von Prof. Alan Feduccia, S. K. Heninger Professor, Department of Biology, University of North Carolina

[2] R. Junker, S. Scherer, Evolution - ein kritisches Lehrbuch, Teil IV, 13.5 Vom Reptil zum Vogel

## **Bildnachweis**

Die Urheberrechte des Bildmaterials liegen bei den jeweiligen Besitzern der Rechte.

### **Der Fundort**

Abb. 1: Vorlage aus K. A. Frickinger – Die Fossilien von Solnhofen – umgearbeitet Martin Sauter

Abb. 2: Bayr. Geologisches Landesamt

Abb. 3: Martin Sauter

Abb. 4: Aus Prof. Dr. Oskar Kuhn „Die Tierwelt des Solnhofener Schiefers“

Abb. 5: Science Museum/Science & Society Picture Library

Abb. 6 bis Abb. 8: Martin Sauter

Abb. 9 bis Abb. 12: Fossiliensammlung Martin Sauter

### **Die Funde**

Abb. 1: Museum für Naturkunde der Humboldt - Universität in Berlin

Abb. 2: Aus The beginnings of Birds, Proceedings of the International Archaeopteryx Conference Eichstätt (Edited by Max K. Hecht, John H Ostrom, Günter Viohl, Peter Wellnhofer), 1984

Abb. 3: Britische Museum für Naturgeschichte

Abb. 4: Museum für Naturkunde der Humboldt - Universität in Berlin

Abb. 5: Museum auf dem Maxberg

Abb. 6: Aus The beginnings of Birds, Proceedings of the International Archaeopteryx Conference Eichstätt (Edited by Max K. Hecht, John H Ostrom, Günter Viohl, Peter Wellnhofer), 1984

Abb. 7: Martin Sauter, , Jura-Museum auf der Willibaldsburg in Eichstätt

Abb. 8: Martin Sauter , Bürgermeister Müller Museum in Solnhofen

Abb. 9: Bayerische Paläontologische Sammlung München

Abb. 10: Bürgermeister Müller-Museum, Solnhofen

Abb. 11: Martin Sauter, , Bürgermeister Müller Museum in Solnhofen

## **Die Forscher und der Wandel der Zeit**

Abb. 1: UCMP Berkeley

Abb. 2: Internet Infields (Secular Web)

Abb. 3: Lockport Cyber Museum of Rocks, Minerals & Fossils

Abb. 4: University of Colorado at Denver

Abb. 5: Gerhard Heilmann, Selbstbildniss, 1902

Abb. 6 bis Abb. 9: Aus Gerhard Heilmann, The Origin of Birds, Appleton NY 1927

Abb. 10: Peabody Museum, Yale

Abb. 11: University on North Carolina at Chapel Hill, Dep. Of Biology

## **Vogel oder Reptil – oder beides?**

Abb.1: Rekonstruktionszeichnung von Wenzel Balat, wiss. Beratung P. Wellnhofer

Abb.2: Aus P. Wellnhofer , “Das siebte Exemplar von Archaeopteryx aus den Solnhofener Schichten“, Archaeopteryx 11, Eichstätt 1993

Abb. 3: Aus The beginnings of Birds, Proceedings of the International Archaeopteryx Conference Eichstätt (Edited by Max K. Hecht, John H Ostrom, Günter Viohl, Peter Wellnhofer), 1984

Abb. 4: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

Abb. 5: Mit freundlicher Genehmigung von Andrew Skolnick

Abb. 6: Mit freundlicher Genehmigung von Andrew Skolnick

Abb. 7: Silvio Keller, umgezeichnet nach Dingus, Lowell and Timothy Rowe, The Mistaken Extinction - Dinosaur Evolution and the Origin of Birds, 1998

Abb. 8: Silvio Keller, umgezeichnet nach Dingus, Lowell and Timothy Rowe, The Mistaken Extinction - Dinosaur Evolution and the Origin of Birds, 1998

Abb. 9: Aus P. Wellnhofer , “Das siebte Exemplar von Archaeopteryx aus den Solnhofener Schichten“, Archaeopteryx 11, Eichstätt 1993

Abb. 10: Silvio Keller, umgezeichnet nach Marsh (aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999)

Abb. 11: Silvio Keller, umgezeichnet nach Marsh (aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999)

Abb. 12: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

Abb. 13: Aus Frietson Galis, Martin Kundrát and Barry Sinervo, An old controversy solved: bird embryos have five fingers, TRENDS in Ecology and Evolution, Vol. 18 No. 1 January 2003

Abb. 14: Aus Alan Feduccia, Bird Origins: Problem solved, but the debate continues, Update, Trends in Ecology Evolution, Vol. 18 No.1, January 2003

### **Rekonstruktion**

Abb. 1: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

Abb. 2: Aus Burkhard Stephan, Urvögel, Die neue Brehm Bücherei, 1979

Abb. 3: Martin Sauter, Modell im Juramuseum Eichstätt (Willibaldsburg)

### **Federevolution – woher und warum**

Abb. 1: College of Charleston, South Carolina

Abb. 2: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

Abb. 3: UK Dinosaurs and Dinosaurs of the World

Abb. 4: Aus The beginnings of Birds, Proceedings of the International Archaeopteryx Conference Eichstätt (Edited by Max K. Hecht, John H Ostrom, Günter Viehl, Peter Wellnhofer), 1984

### **Evolution des Vogelfluges**

Abb. 1: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

Abb. 2: Nature Publishing Group

Abb. 3 bis Abb. 5: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

### **Geflattert oder Geflogen**

Abb. 1: Martin Sauter

Abb. 2: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

Abb. 3: Aus The beginnings of Birds, Proceedings of the International Archaeopteryx Conference Eichstätt (Edited by Max K. Hecht, John H Ostrom, Günter Viehl, Peter Wellnhofer), 1984

Abb. 4 bis Abb. 5: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

### **Systematik –Problematik**

Abb. 1: aus NAUMANN, NATURGESCHICHTE DER VÖGEL MITTELEUROPAS: Band IV, Tafel 12 - Gera, 1901

Abb. 2: Angelcenter Karlsruhe

Abb. 3: Aus Das Rätsel der Dinosaurier, Adrian Desmond, 1978

Abb. 4 bis Abb. 5: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

### **Frühere Vogelfossilien**

Abb. 1: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

Abb. 2: Aus Alan Feduccia, The Origin and Evolution of Birds, 2nd. Edition, Yale Univ. Press, 1999

Abb. 3: National Geological Museum of China

Abb. 4: Hou L., Martin, L. D., Zhou Z., Feduccia, A., 1996, Early adaptive radiation of birds; evidence from fossils from northeastern China. Science, v. 274n. 5290, p. 1164-1167

### **Spätere Vogelfossilien**

Abb. 1: Aus Gerhard Heilmann, The Origin of Birds, Appleton NY 1927

Abb. 2: Silvio Keller, Messel Grabung 2003 Landesmuseum Darmstadt

### **Archaeopteryx – gefälscht?**

Abb. 1: Uni Würzburg

Abb. 2: National Geographic Magazin